



ELEMENTI DI FISICA

E SUE

PRINCIPALI APPLICAZIONI

DI

LEONARDO DOVERI

Dottore in Scienze Fisiche e Naturali
Prof. di Fisica e Chimica
nel R. Liceo Militare Arciduca Ferdinando

DESTINATI PARTICOLARMENTE AGLI ALUNNI DEI LICEI
DELLE SCUOLE TECNICHE E DEI COLLEGI

Vol. I.



FIRENZE

TIPOGRAFIA GALILIANA

di M. Cellini e C.

1854





A SUA ECCELLENZA

IL GENERALE CONTE LUIGI SERRISTORI

—

OMAGGIO DELL' AUTORE

ELEMENTI DI FISICA

SUE PRINCIPALI APPLICAZIONI

NOZIONI PRELIMINARI

La Fisica, nel significato più ampio della parola, è quella scienza che si occupa delle proprietà dei corpi, dei cambiamenti che in essi avvengono, delle leggi di questi cambiamenti, e delle forze che li determinano. Questo immenso campo era una volta del dominio di una sola scienza, che gli antichi chiamavano *filosofia naturale* o *scienza della natura*; ma a misura che le cognizioni sopra gli esseri e i fenomeni naturali sono andate moltiplicandosi, nuove scienze si sono formate a comprenderle. I corpi posseggono delle proprietà caratteristiche, che servono a distinguerli l'uno dall'altro, a specificarli, come si dice; e queste spettano alla storia naturale, la quale in altre scienze è divisa, cioè in zoologia, botanica e mineralogia, secondo che gli esseri presi ad esaminare appartengono al regno animale, al vegetabile o al minerale.

Le proprietà di cui si occupa la Fisica propriamente detta appartengono a tutti i corpi indistintamente: tali sono l'estensione, l'impenetrabilità, la divisibilità, la porosità e l'inerzia.

I cambiamenti che avvengono nei corpi non sono tutti del dominio della Fisica. Quelli delle masse planetarie, nel grande

sistema dell'universo sono studiati dall'astronomia. I fenomeni che si operano fra le ultime parti dei corpi, che succedono solo nello intimo contatto di queste, e vengono a produrre un cambiamento stabile, appartengono alla chimica. Così, per esempio, se si prende un frammento di un corpo che i chimici chiamano ioduro di potassio, e si pone in contatto di un frammento di un altro corpo distinto dai medesimi col nome di sublimato corrosivo, non vedesi alcun cambiamento apparire su i due frammenti. Se si polverizzano, e si mescola intimamente la loro polvere, neanco apparisce alcuna alterazione o trasformazione nelle due materie; ma se si sciolgono i due frammenti nell'acqua, e si mescolano le soluzioni, i due liquidi limpidissimi producono una polvere di un bellissimo rosso, la quale a poco a poco si deposita. Ciò accade perchè col disciogliere i due corpi, essi prendono il maggior grado possibile di divisione, e quindi nel mescolare i due liquidi, le più piccole loro particelle trovansi ad intimo contatto, e possono quindi reagire fra loro, e produrre un fenomeno permanente, qual'è quello della formazione di un corpo rosso. Questo fenomeno è dunque di natura chimica. Se invece si preude un cannello di ceralacca e si confrica con della lana; poi si avvicina a dei sottili ritagli di carta o di paglia o di altra sostanza leggiera, si vede che li attira e li ritiene. Frattanto il cannello di ceralacca non ha cambiato natura, e di più perde l'acquistata proprietà se si confrica colle mani. Questo fenomeno che si produce a distanza fra la ceralacca confricata e i piccoli frammenti di carta, senza che l'una o gli altri cangino di natura, e che di più non è permanente, appartiene alla Fisica.

Un altro fenomeno a tutti noto, e che pure appartiene per la sua natura alla Fisica, si è quello dell'azione del ferro sull'ago calamitato. Un ago calamitato perfettamente mobile su di un pernio, prende sempre una direzione costante rispetto ai poli della terra. Questa direzione è presso che parallela al meridiano terrestre. Una delle sue estremità guarda costantemente il polo boreale della terra, l'altra il polo australe. Ora se si avvicina ad una delle estremità dell'ago magnetico, mentre esso trovasi nella sua posizione di equilibrio, una verga

di ferro, l'ago abbandona la sua posizione, e l'estremità a cui si è appressata la verga di ferro viene attratta con forza. Allontanando la verga, l'ago ritorna nella sua primitiva situazione.

La Fisica adunque studia, oltre le proprietà generali dei corpi situati alla superficie della terra, anche tutti i cambiamenti che in essi avvengono, quelli esclusi che accadono fra le ultime loro parti, e che operansi soltanto nel contatto di queste. Nello studiare questi fenomeni la Fisica determina le leggi colle quali si effettuano e le proprietà delle forze che li producono.

Queste forze che agiscono indistintamente sulla materia, sono anche dette *agenti della natura*, e si riducono all'*attrazione universale*, all'*attrazione molecolare*, al *calore*, all'*elettricità* ed alla *luce*. L'intima natura di queste forze è ancora ignota. Esse ci sono note soltanto pei loro effetti.

Il calorico, l'elettricità e la luce sono stati considerati dai fisici quali fluidi di un'estrema sottigliezza, capaci di penetrare tutti i corpi e completamente sprovvisti di peso. Perciò furono detti *fluidi imponderabili*; ma poichè l'idea di fluido comprende quella di corpo, e non v'ha corpo che non pesi, questa loro denominazione, così impropria e contraddittoria, basta ad accennare quanto vi sia d'oscuro sulla vera loro natura. Noi conserveremo loro il nome di *agenti* o *forze della natura*, che hanno a comune coll'attrazione. Nel progresso del nostro corso vedremo sorprendenti analogie fra queste quattro grandi forze, e nascerà spontanea nel nostro spirito la persuasione che esse altro non sieno che modificazioni varie di una grande e sola forza, la quale sia quasi come l'anima della natura. Alcuni fisici considerano questa unica forza come emanante da un fluido imponderabile sparso per tutto l'universo, contenuto in tutti i corpi, e in questi modificato dalla presenza della materia, e di cui le parti si respingano incessantemente. A questo fluido danno il nome di *etere universale*.

Quantunque questa ipotesi abbia per gli scienziati una grande importanza, non ci soffermeremo a discuterla. Eviteremo, più che ci sarà concesso, le ipotesi tutte, e a quelle sole ci arresteremo, senza le quali sarebbe difficile afferrare l'insie-

me di numerosi fatti. Saremo invece diligenti osservatori dei fenomeni; ne studieremo attentamente le leggi, e li classeremo con ordine.

1.° PROPRIETÀ GENERALI DEI CORPI.

Delle cinque rammentate proprietà comuni a tutti i corpi, l'estensione e l'impenetrabilità, ci dan l'idea di ciò che compone un corpo, ossia di ciò che diciamo *materia*. Infatti quantunque la materia sia differentissima d'aspetto nei diversi corpi, non è mai dato concepirla che non sia estesa ed impenetrabile. L'idea d'estensione si applica anche ad uno spazio vuoto, ma quando vi uniamo quella d'impenetrabilità si concepisce tosto la materia.

Estensione. Tutti i corpi occupano necessariamente un certo spazio; questo spazio è la loro estensione. L'estensione ha tre dimensioni: la lunghezza, la larghezza e la profondità. Tuttavia in geometria ed in fisica si prendono talvolta in considerazione anche le superfici che hanno due dimensioni soltanto, le linee che ne hanno una sola, ed i punti che non ne hanno alcuna; ma queste sono delle astrazioni paragonabili a quelle dell'aritmetica: le superfici, le linee ed i punti non esistono in natura.

Le proprietà della estensione sono studiate dalla geometria. La fisica però insegna a misurarla con precisione. La misura dell'estensione che basta al fisico, è quella delle linee rette e degli angoli. Le prime si misurano riportando sulla loro lunghezza l'unità lineare.

L'unità di misura lineare è in Toscana il *braccio* così detto *a panno*, il quale si divide in 20 parti dette *soldi*, e ogni soldo in 12 *denari*. V'ha inoltre la *canna agrimensoria*, che si compone di cinque braccia. Per le misure itinerarie si fa uso del *miglio*, che equivale a braccia $2833 \frac{13}{1000}$. L'unità di superficie è generalmente il braccio a panno quadro, che contiene 400 soldi quadri, di 144 denari ciascuno. Per le misure agrarie v'ha il *quadrato*; esso si divide in 10 *tavole*, la tavola in 10 *pertiche*, la pertica in dieci *deche*, e la deca in 100 braccia quadre.

L'unità di misura lineare francese ha grandi vantaggi sulla nostra e su quella degli altri paesi, poichè è una frazione di uno dei cerchi massimi della terra, cioè la diecimilionesima parte della porzione di un meridiano terrestre, compresa fra il polo e l'equatore. Questa misura, che è conosciuta col nome di *metro*, attesa la sua invariabilità ha le necessarie condizioni per divenire l'unità di misura lineare di tutti i popoli civilizzati, ed è già la misura adottata dagli scienziati di tutti i paesi (1). Il metro si divide in dieci parti chiamate *decimetri*, ogni decimetro in altre dieci dette *centimetri*, e ciascun centimetro in dieci *millimetri*. Per le grandi estensioni s'impiegano delle unità che hanno il nome di *chilometro* e di *miriametro*, e si compongono, la prima di 1000 metri, e la seconda di 10,000. L'unità di superficie più frequentemente adoprata è il metro quadro. Per le grandi estensioni si prende per unità una superficie di 100 metri quadri, che si designa col nome di *aro*, o di 10,000 metri quadri, che si distingue col nome di *ectaro*. Pei volumi l'unità è il decimetro cubo, che ha il nome di *litro*, o *l'ectolitro*, il quale, come lo indica il nome contiene 100 litri.

Per misurare delle lunghezze minori di un millimetro si fa uso di un istrumento molto ingegnoso detto *nonio* o anche *verniero* dal nome del suo autore, il geometra Vernier. Consiste in due regoli di metallo (Tav. I, Fig. 1.^a) di egual lunghezza *AB* e *CD*, il primo dei quali è diviso in nove parti eguali, per es. in 9 millimetri, e l'altro in dieci parti eguali. È evidente che ognuna delle divisioni del regolo *CD* è eguale a $\frac{9}{10}$ di millimetro, e perciò situando a contatto i due regoli l'uno sotto l'altro in modo che gli zeri delle due divisioni coincidano, è evidente che la distanza fra la prima divisione del primo regolo e la prima divisione del secondo sarà di $\frac{1}{10}$ di millimetro; quella fra la seconda del primo regolo e la corrispondente del secondo di $\frac{2}{10}$ di millimetro e così di seguito. Se ora si fa scorrere il secondo regolo in modo che i primi due tratti coincidano, il secondo regolo sarà così avanzato di $\frac{1}{10}$

(1) Un metro equivale a braccia toscane 1,713; ossia braccia 1, soldi 14 e denari 3 e $\frac{1}{4}$ circa.

di millimetro; se la coincidenza avverrà pei secondi tratti sarà avanzato di $\frac{1}{10}$ di millimetro ec. ec. Quindi per misurare una estensione minore di un millimetro, per es. la linea MN , (*Tav. I, Fig. 2.^a*) si situerà il regolo AB del nonio al di sopra di essa, in modo che le loro estremità M ed A coincidano perfettamente, poi si situerà il regolo CD all'estremità della linea MN , al di sotto del regolo AB . La lunghezza di MN si otterrà contando sul regolo CD il numero delle divisioni fino alla coincidenza, e questo sarà il numero dei decimi cercato. Se la coincidenza sarà al 4.^o tratto del regolo CD , come nella fig. 2.^a la lunghezza di MN sarà di $\frac{4}{10}$ di millimetro; se sarà al 6.^o tratto, come nella fig. 3.^a detta lunghezza sarà di $\frac{6}{10}$ di millimetro. Se il regolo AB invece che in 9 millimetri fosse diviso in 19, 29, 39, 49 ec. millimetri, e il regolo CD in 20, 30, 40, 50 parti eguali, s'intende che le differenze di estensione delle divisioni dei due regoli sarebbero di $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{20}$, $\frac{1}{30}$, $\frac{1}{40}$ di millimetro, e quindi mediante siffatti vernieri potrebbero valutarsi delle lunghezze di $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{20}$, $\frac{1}{30}$, $\frac{1}{40}$ di millimetro. Estensioni maggiori di $\frac{1}{10}$ di millimetro, si è riconosciuto che non possono valutarsi, a motivo della difficoltà di praticare un numero troppo grande di divisioni su dei regoli di sì piccola estensione, in modo da rendere evidente la coincidenza dei tratti.

Si adopera anche frequentemente, per la misura delle piccole lunghezze o grossezze, la vite micrometrica, la quale può anche servire come d'istrumento di divisione. Consiste (*Tav. I, Fig. 4.^a*) in una vite AA perfettamente lavorata, la quale entra nella madre-vite fissa BB e porta alla sua testa un cerchio diviso CC , la cui circonferenza resta nella sua rotazione in faccia al regolo diviso DD . Ogni divisione di questo regolo corrisponde ad un passo della vite, per cui mediante questo istrumento si possono valutare le frazioni del passo della vite dal numero delle divisioni del cerchio CC , trascorse durante il movimento della vite. Questo apparecchio è principalmente destinato a misurare delle piccole grossezze. A quest'uopo si comincia dal situare contro la traversa fissa EE il corpo di cui si vuol misurare una delle dimensioni; si conduce, mediante il movimento della vite, il pezzo mobile FF in con-

tatto con lui, quindi si toglie il corpo, e si conduce lo stesso pezzo mobile in contatto della traversa *EE*: la corsa della vite in quest'ultimo movimento è evidentemente eguale alla grossezza del corpo. Se per mezzo della vite micrometrica si volesse misurare il diametro di un filo metallico dotato di sufficiente lunghezza, si potrebbe determinare questo diametro con una grande approssimazione avvolgendolo su di un piccolo cilindro in modo che i suoi giri si toccassero, misurando lo spazio occupato da un certo numero di questi giri, e dividendo questo spazio pel loro numero.

Quando gli oggetti hanno delle piccolissime dimensioni si misurano disponendoli su delle lamine di vetro su cui si sono tracciate con una punta di diamante delle linee molto vicine e situate ad egual distanza fra loro. Osservando col microscopio il numero delle divisioni coperte dall'oggetto, e conoscendo la distanza delle linee fra loro, si ottiene la dimensione cercata. Siccome si è giunti a tracciare 400 linee nello spazio di un millimetro, si possono valutare delle dimensioni di $\frac{1}{400}$ di millimetro.

La misura di un angolo si ha dal numero dei gradi dell'arco di circolo compreso tra le linee che lo formano, e descritto dal suo vertice come centro. Il circolo, come tutti sanno, è diviso in 360° , ogni grado in $60'$, ed ogni minuto in $60''$. La misura delle piccolissime frazioni di arco, si opera per mezzo di vernieri curvi.

Impenetrabilità. Due corpi non possono occupare nello stesso tempo lo stesso luogo; l'uno esclude l'altro dallo spazio che occupa. Questa proprietà della materia dicesi impenetrabilità; ed è così evidente che a dimostrarla non fa d'uopo di esperimento. L'aria stessa e tutti i fluidi aeriformi, essendo realmente costituiti di materia, sono impenetrabili. Se con tanta facilità ci muoviamo in mezzo all'aria, ciò significa che facilmente la spostiamo; ma se rovesciamo sull'acqua una campana piena di aria, vediamo che, comunque si preme, questo fluido non cede all'acqua il suo posto. Su questo principio è anzi fondata la costruzione di un apparecchio che serve alla pesca dei coralli nel fondo del mare, e che vien detto *campana da palombaj*. Il medesimo consiste in un vaso aperto nella

parte inferiore, il quale calato sott'acqua si mantiene ripieno di aria, e l'acqua che ne chiude l'apertura non v'entra che poco pel condensarsi dell'aria. Uno dei migliori di questi apparecchi fu costruito in Inghilterra dal dottor Halley. Consisteva in una campana di piombo (*Tav. 1, Fig. 5*) alta circa otto piedi, in forma di cono troncato con tre piedi di diametro in alto e cinque in basso. Dalla medesima pendevano attaccati alcuni pesi destinati a farla discendere sotto l'acqua. Una lente *D* era collocata in alto per dar passaggio alla luce, e l'aria calda, e viziata si faceva uscire mediante un tubo attaccato alla parte superiore della campana, e fornito di un robinetto *R*. Gli operai erano collocati sopra un piano circolare *AB*, e discendevano sopra un banco *DC*, il quale rimaneva sotto la macchina sospeso con delle corde in mezzo all'acqua. Tutta la macchina stava legata all'albero d'una nave, dalla quale si faceva calare la campana sul luogo ove giudicavasi necessaria. Per rinnovare l'aria sotto la campana si usavano dei barili pieni di questo fluido, i quali calavansi in basso mediante dei pesi convenienti, e si ritiravano in alto con delle corde, in seguito di segnali convenuti. In oggi si fa uso in Inghilterra di campane da palombaj, in cui il rinnovamento dell'aria si opera per mezzo di una tromba premente.

La divisibilità, la porosità, e l'inerzia sono le altre proprietà comuni ai corpi. Dal loro studio ci faremo idea del modo onde questi sono costituiti ed esistono.

Divisibilità. Tutti i corpi sono divisibili e per un numero grande di essi la divisione può esser protratta ad un sì alto grado da sorpassare l'immaginazione. Molti esempj possono citarsene. Il battiloro e il filaloro ce ne offrono dei sorprendenti. Un grano d'oro può essere ridotto in foglie capaci di esser divise in 3,000,000 di parti visibilissime. Tre grani dello stesso metallo possono ricuoprire un filo d'argento della lunghezza di 247 miglia italiane. Wollaston, fisico inglese, è riuscito a preparare dei fili di platino aventi un diametro di $\frac{1}{1500}$ di millimetro. Un fascio di 140 di questi fili forma appena la grossezza di un fil di seta. La chimica ci offre pure comunissimi esempj di estrema divisione della materia. Un mezzo grano di carminio

è capace di colorare 15 chilogrammi di acqua, e con questa possono tingersi delle matasse di filo di lino, il quale se si stendesse pel verso della sua lunghezza occuperebbe 90,000 metri.

Le arti non solo ma la stessa natura ci somministrano degli esempj simili ed anche più meravigliosi. Così è noto che il sangue dei vertebrati è costituito da un'infinità di piccoli globetti microscopici natanti nel siero. Questi globuli hanno un diametro non maggiore di $\frac{1}{100}$ di millimetro, ed hanno un invoglio ed un nucleo. Gli animaletti infusorj scoperti da Ehrenberg hanno la grossezza di $\frac{1}{1000}$ ed anche $\frac{1}{1000}$ di millimetro, e non di meno sono forniti di organi distinti. Le particelle odorose che emanano dai fiori e che imbalsamano considerevoli masse di aria sono di una picciolezza tale, che la nostra immaginazione non può concepire. Un grano di muschio spande per lungo tempo un odore penetrante in una stanza in cui l'aria sia spesso rinnovata, senza diminuire sensibilmente di peso.

È stata lungo tempo agitata la questione della divisibilità della materia all'infinito. Quantunque si possa coll'immaginazione concepirla indefinita, quando abbiamo riguardo ai processi meccanici di cui possiamo disporre per dividere la materia, ci accorgiamo ch'essa è in realtà compresa fra limiti assai ristretti. I limiti della divisione sono assai più lontani quando si adoprano processi chimici. Così per esempio quando si scioglie un sale nell'acqua, le particelle nelle quali il sale si divide sono così piccole che sfuggono non solo all'occhio nudo, ma ben anco all'occhio armato del più potente microscopio. Non per questo bisogna ammettere che mediante chimici processi possa la materia talora dividersi all'infinito. Anzi la chimica stessa c'insegna il contrario, poichè ci addita un limite di divisibilità nei corpi, che i suoi processi non possono oltrepassare. Essa ci mostra che le combinazioni chimiche avvengono fra particelle di materia estremamente piccole e indivisibili, fra le quali agisce quella particolar forza di attrazione che dicesi affinità. Queste ultime particelle dei corpi hanno ricevuto il nome di *atomi* o *molecole chimiche*. E non è possibile dubitare della loro indivisibilità, rispetto ai fenomeni dell'affinità, quando vediamo che i corpi si com-

binano fra loro sempre nello stesso peso, e con rapporti di quantità semplicissimi.

I fenomeni chimici non solo, ma anche altri argomenti, che avremo luogo di discutere in seguito, hanno indotto i fisici ad ammettere che i corpi siano costituiti dall'insieme di piccolissime particelle indivisibili. Ma, a vero dire, pel fisico, *atomo* o *molecola* ha doppio significato, poichè sta a denotare tanto l'*elemento della materia* quanto la *materia indivisibile*. Considerato l'atomo sotto il primo aspetto, se ne potrebbe indurre che le particelle indivisibili costituenti i diversi corpi fossero pure il risultato dell'aggruppamento vario di un maggiore o minore numero di detti elementi; e che la indivisibilità delle medesime fosse soltanto relativa ad una certa serie di fenomeni.

Porosità. Le molecole dei corpi sono aggregate in modo da lasciare fra loro degl'intervalli o spazi vuoti, i quali hanno ricevuto il nome di *pori*. Non bisogna però confondere con questi quei maggiori interstizj che scorgonsi anche ad occhio nudo nella massima parte dei corpi, i quali piuttosto che pori dovrebbero dirsi soluzioni di continuità. Queste sono talora assai considerevoli, e tali da lasciar passaggio ai fluidi meno sottili. La spugna è la sostanza che presenta al più alto grado questo genere di porosità; vengono poi le materie formate di fibre, come le tele, le stoffe, i legni ec., le quali facilmente s'imbevono dei liquidi e li lasciano passare fra i loro interstizj. I tessuti animali godono di uno stesso grado di porosità. Le pietre lo sono più o meno; i metalli pochissimo; non di meno gli Accademici del Cimento, nel 1661, esercitando una forte pressione sull'acqua contenuta entro una palla d'oro, la videro trasudare attraverso i pori dello stesso metallo.

Talora i pori sono così piccoli, così serrati fra le molecole dei corpi, che non si lasciano penetrare dai fluidi, quantunque sottoposti alle più forti pressioni. Si può allora giudicare di questa intima porosità dei corpi da altri fatti; così, se percuotendo o comprimendo un metallo lo vediamo diminuire di volume, si deve ammettere che le sue molecole materiali si sono ravvicinate, e quindi che gl'interstizj fra di

esse esistenti hanno diminuito di volume. La diminuzione di volume che subiscono i fluidi aeriformi ed i liquidi per mezzo della pressione, ci prova parimente la porosità di questi corpi. In alcuni liquidi questa proprietà può anche essere dimostrata da altri fatti. Se in un lungo tubo di vetro chiuso ad un estremo introduciamo due colonne liquide, l'una di acqua sovrapposta all'altra di acido solforico, e quindi le rimescoliamo capovolgendo più volte il tubo, si osserva che il liquido formato dall'unione dei due occupa uno spazio minore di quando erano separati; prova sicura che nella combinazione le loro molecole si sono maggiormente avvicinate.

Vi sono dei corpi durissimi, come il vetro, il cristallo di rocca, il diamante, i quali sono affatto impenetrabili ai fluidi ponderabili, e la cui porosità non può neanche provarsi colla diminuzione di volume che sogliono i corpi subire colla pressione o colla percussione, imperciocchè questi non si lasciano comprimere, e alla percussione si spezzano; nullameno conviene ammettere che anche questi siano costituiti secondo la legge generale, poichè li vediamo aumentare di volume col riscaldamento; mostrando così che il calore tende a tener separate le loro molecole; e noi avremo luogo in seguito di stabilire che anche alle più basse temperature i corpi ritengono sempre del calorico, per cui giammai le loro molecole sono ad intimo contatto.

Dobbiamo adunque considerare ogni corpo come composto di particelle materiali fra le quali esistono dei pori; quindi si deve necessariamente distinguere nello spazio che esso occupa, il *volume apparente*, cioè quello rappresentato dalle esterne dimensioni, dal *volume reale* o *massa* del corpo, composto di tutte le particelle materiali supposte aggregate senza lasciare intervalli fra loro. Il rapporto del volume apparente colla massa, è ciò che dicesi *densità*. Il piombo è più denso del legno, perchè sotto lo stesso volume apparente, il primo contiene una massa molto maggiore.

Inerzia. I corpi non possono di per sè stessi cambiare di stato, porsi in movimento o cessare dal moto. Ciò si esprime col dire che *la materia è inerte*. Allorquando un corpo si rompe o si sposta, addiviene più duro o più molle, si raf-

fredda o si riscalda, si liquefa o si vaporizza, ciò significa che qualche causa gli ha impresse queste modificazioni. Vediamo tutto giorno che i cambiamenti di temperatura nei corpi, o il loro passaggio dallo stato solido al liquido, o da questo al vaporoso provengono dal calore; parimente i loro movimenti sono sempre determinati da qualche azione che si esercita su di essi. Così una bilia non si muove sul piano del biliardo se non vien percossa dalla stecca, una palla di piombo sospesa ad un filo cade solo quando si taglia il filo, la cui resistenza distruggeva l'effetto della forza di gravità. Meno evidente apparisce che i corpi in moto non possano tornare in quiete senza una forza che distrugga l'effetto di quella che ha prodotto il loro movimento, conciossiachè di continuo vediamo estinguersi i movimenti senza che una causa apparente vi contribuisca. Ma questa causa è riposta nelle resistenze continue che un corpo in moto incontra sulla sua strada; infatti esso persevera tanto più nel medesimo quanto meno numerosi sono quelli ostacoli. Così una palla di avorio, mossa sempre da una stessa forza, continuerà a muoversi molto più lungamente sopra un piano di marmo che sopra una tavola grossolana di legno, e molto più a lungo su questa che sopra un piano asperso di arena. Un pendolo oscillerà per un tempo assai maggiore nell'aria che nell'acqua. D'altronde i movimenti dei corpi celesti ci danno la prova più convincente della inerzia della materia. Da secoli non hanno subito la minima alterazione: movendosi in spazj vuoti hanno conservato la stessa velocità che fu loro impressa in origine.

2.° NOZIONI GENERALI SULLE FORZE, SULL'EQUILIBRIO, E SUL MOVIMENTO.

Per *forza*, s'intende tutto ciò che toglie la materia dall'inerzia. Gli atomi dei corpi posti semplicemente a contatto, per la loro inerzia non potrebbero costituire nè i solidi nè gli altri corpi della natura; essi non formerebbero che un ammasso incoerente simile ad un mucchio di sabbia o di polvere. Una pietra o un pezzo di ferro sono corpi solidi e resi-

stenti: bisogna adunque che vi sia una causa che tenga uniti e aderenti gli atomi fra loro, e ne faccia un insieme dotato di coesione. Questa causa è una forza; è la forza di attrazione.

Le forze sono anche la cagione del moto dei corpi. Il moto può definirsi, lo stato di un corpo che occupa successivamente differenti punti nello spazio. Un movimento non ha mai luogo che in una certa direzione, che è necessariamente quella della forza che lo ha prodotto.

Nel muoversi un corpo percorre un certo spazio in un dato tempo. Il tempo è difficile a definirsi: l'uomo se ne forma idea col succedersi dei movimenti e coll'avvicinarsi degli avvenimenti. I corpi in moto percorrono uno spazio diverso nello stesso tempo, e quelli che nello stesso tempo percorrono uno spazio maggiore di altri, diconsi più *veloci*.

La *velocità* adunque è il rapporto fra lo spazio percorso da un dato corpo e il tempo impiegato a percorrerlo.

Rapporto tra le velocità e le forze. L'esperienza sola prova che le velocità sono semplicemente proporzionali alle forze. Nulla dimostra *a priori* che questo rapporto è quello che realmente esiste. Se le forze sono realmente proporzionali alle velocità ne deve risultare che i movimenti relativi di un sistema di corpi non debbano essere alterati quando una stessa forza agirà su tutto il sistema. Per esempio, quando dei corpi si muovono su di una linea retta, i moti relativi sono prodotti dalla differenza delle velocità, e questa differenza non sarebbe punto alterata quando ogni forza fosse aumentata della stessa quantità. Reciprocamente, se i movimenti relativi di un sistema di corpi non sono alterati da un impulso comune a tutto il sistema, se ne potrà concludere che le velocità sono proporzionali alle forze; giacchè nessun altro rapporto tra le velocità e le forze potrebbe soddisfare alla condizione supposta.

Riprendiamo l'esempio dei corpi che si muovono sopra una stessa linea retta, e supponiamo che sieno sollecitati da delle forze rappresentate da 1 e 2: se le forze non sono proporzionali alle velocità, se stanno fra loro p. es. come i quadrati delle velocità, le forze essendo fra loro come 1 e 2, le velo-

cità saranno fra loro come 1 e 4, e il secondo corpo tenderà ad allontanarsi dal primo con una velocità eguale a 3; se in seguito si comunica loro un impulso comune rappresentato da 1, le forze essendo come 2 e 3, le velocità saranno come 4 e 9, e in conseguenza i movimenti relativi saranno alterati, poichè il secondo tenderà ad allontanarsi dal primo con una velocità eguale a 5. Accadrebbe lo stesso per ogni altro rapporto fra le velocità e le forze. Ora l'esperienza dimostra che i movimenti relativi dei corpi non sono punto alterati da delle forze comuni; così, in un bastimento in moto, in cui tutte le parti sono animate da un movimento comune, una data forza applicata ad un oggetto situato su quello, non produrrà velocità diversa, di quando il bastimento fosse in quiete: possiamo adunque concludere che le forze sono proporzionali alle velocità.

Fin qui si è considerato l'azione della forza sopra un sol punto materiale; ma i corpi sono riunioni di punti materiali, cioè a dire sono *masse*. Vediamo adunque quale è il rapporto fra le forze, le velocità e le masse. L'esperienza giornaliera ha reso evidenti, e come assiomatiche le seguenti leggi: 1.^o *Le forze sono proporzionali alle velocità che imprimono alla stessa massa o a masse eguali*; 2.^o *Le forze sono proporzionali alle masse alle quali imprimono delle velocità eguali*; 3.^o *Per la stessa forza le velocità sono inversamente proporzionali alle masse*.

Dalle prime due si deduce un'altra legge importante, cioè che *le forze si misurano dai prodotti delle masse per le velocità*. Infatti sieno F ed F' due forze che agendo sulle masse m ed m' imprimano loro le velocità v e v' . Consideriamo una terza forza F'' , che agendo sulla massa m le imprima la velocità v' . Paragonando la prima forza colla terza si avrà $F : F'' :: v : v'$, e paragonando la terza colla seconda, avremo $F'' : F' :: m : m'$. Moltiplicando queste due proporzioni per ordine, sopprimendo il fattore comune F'' , avremo

$$F : F' :: m v : m' v'.$$

Il prodotto della massa per la velocità dicesi *quantità di movimento*.

Da ciò che precede si vede che quando una stessa forza agisce successivamente su delle masse ineguali, la quantità di

movimento dev'esser la stessa. Difatti se una stessa forza agisce successivamente su delle masse che stanno fra loro come 1. 2. 3..... 100, si è detto che le velocità staranno fra loro come $1. \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \dots, \frac{1}{100}$, e quindi il prodotto è sempre eguale ad 1.

Dunque stabiliremo che la quantità di movimento è la vera misura della forza, e la forza che agisce sopra una massa qualunque è sempre in rapporto del prodotto della massa per la velocità.

Infine l'esperienza diretta ci dimostra ancora *che le forze agiscono nello stesso modo su tutti i corpi indipendentemente dalla loro natura*. Basta infatti prendere masse eguali di un certo numero di corpi di natura diversa e comunicare a tutti la stessa forza, per accertarsi che essi acquistano la stessa velocità.

Qualità delle forze. Si distinguono due specie di forze: le forze istantanee e le forze continue.

Le prime non agiscono che all'origine del movimento e per un solo impulso istantaneo; le altre agiscono continuamente per tutta la durata del movimento e per un seguito di impulsi infinitamente piccoli che si succedono in un modo continuo. Questa distinzione utile in teoria non è d'altronde reale, poichè in natura non v'ha forza la cui azione possa rigorosamente riguardarsi istantanea, poichè una forza qualunque esige sempre un tempo determinato per comunicare al corpo su cui agisce una velocità determinata. Gli effetti delle forze pretese istantanee possono essere riguardati come dovuti ad una forza acceleratrice o continua che ha agito sul corpo, e lo ha abbandonato dopo averlo messo in moto. Noi ammetteremo dunque la distinzione delle forze istantanee e delle forze acceleratrici, perchè essa è comoda per le dimostrazioni, e perchè dopo l'osservazione precedente non ne può risultare alcuna idea inesatta.

Si possono considerare le azioni delle forze continue come separate le une dalle altre da degl'intervalli piccolissimi, e conseguentemente i movimenti prodotti da queste forze come l'effetto di una serie di forze istantanee infinitamente piccole che si succedono a degl'intervalli cortissimi. Noi facciamo così una astrazione intieramente simile a quella di cui si servono i

geometri per determinare le proprietà delle linee curve, che considerano cioè come formate da un gran numero di piccole linee rette.

Le forze istantanee comunicano ai corpi un genere di moto chiamato *uniforme*.

Il moto uniforme è quello nel quale il mobile percorre degli spazj eguali in tempi eguali. Così p. es. concepiamo un mobile che percorra una linea retta, e un orologio che misuri il tempo: se in ogni minuto il mobile avanza della stessa lunghezza, di sessanta metri p. es., e in ogni mezzo minuto di trenta metri, di venti in ogni terzo di minuto, esso si muoverà con moto uniforme. Poichè gli spazj sono eguali per dei tempi eguali ne risulta che il rapporto dello spazio al tempo, cioè la velocità è in questo moto costante.

La equazione che rappresenta questa velocità è:

$$V = \frac{S}{T} \text{ da cui si ha } S = VT.$$

S e T si rappresentano con dei numeri, ma è evidente che è necessario designare ancora le unità di misura che hanno servito a trovare questi numeri, per avere idea esatta di tale velocità.

Parlando dell'inerzià dicemmo che i movimenti dei corpi vengono a cessare per le continue resistenze che incontrano. Perciò le velocità dovute a forze istantanee vanno continuamente diminuendo, e quindi moti uniformi si verificano raramente in natura.

Le forze continue producono un'altra specie di moto che dicesi *vario*. Il moto vario è quello nel quale la velocità cambia ad ogni istante. Dicesi *accelerato* se la velocità va aumentando; e *ritardato* se va diminuendo.

La forza che produce il moto vario, sia accelerato che ritardato, può agire costantemente colla stessa intensità in tutti i tempi del movimento, ovvero può agire con intensità variabili nei varj tempi. Nel primo caso, il moto che si produce dicesi *uniformemente vario*, e può essere uniformemente accelerato o uniformemente ritardato. Del primo di questi moti si ha esempio nella caduta di un grave; del secondo si ha esem-

pio nel moto di un corpo lanciato dal basso all'alto. Ma di ciò parleremo a lungo trattando della gravità. La forza che produce il moto uniformemente accelerato dicesi *forza acceleratrice costante*.

Nel moto uniformemente accelerato, la velocità cresce proporzionalmente al tempo. Possiamo infatti considerare il moto uniformemente accelerato come il risultato di una serie d'impulsi eguali, che si succedono ad intervalli eguali e gli effetti dei quali si aggiungono gli uni agli altri. Quindi è, che se la velocità acquistata da un dato mobile dopo il primo intervallo di tempo, si rappresenti con 1, dovrà rappresentarsi con 2 quella acquistata dopo il secondo intervallo, con 3 quella acquistata dopo il terzo, e così di seguito. Per esprimere ciò in termini più generali, chiamisi g la velocità che la forza acceleratrice imprime al mobile in ciascuna unità di tempo; egli è chiaro che le velocità successive acquistate dal mobile stesso saranno g , $2g$, $3g$ ec.; per modo che dopo un tempo indicato da t , la velocità acquistata sarà g presa tante volte quante sono le unità in t , cioè a dire sarà gt . Dunque se chiamisi v la velocità acquistata dal mobile dopo il tempo t , si avrà

$$v = gt$$

e per un'altra velocità acquistata dopo il tempo t' si avrebbe

$$v' = gt';$$

e quindi si otterrà

$$v : v' :: t, t'$$

cioè a dire che la *velocità è proporzionale al tempo*.

Vediamo ora come cresce lo spazio rispetto al tempo. Sia il tempo rappresentato dalla linea AN (Tav. I, Fig. 6.), e sia questa divisa in un dato numero di parti AB , BC , CD ec.; eguali fra loro ed all'unità di tempo. Inoltre supponiamo che BF rappresenti la velocità acquistata nella prima unità di tempo. Conducendo la retta AFM , e tirando tutte le parallele, come si vede nella figura, saranno aG , bH , cI ec. gli accrescimenti eguali delle velocità, e quindi la velocità totale nel tempo AN si esprimerà per MN , e lo spazio totale percorso in detto tempo sarà la somma degli spazj parziali. Ora per l'unità di tempo si può prendere un'unità tanto piccola che la velocità sia sensibilmente costante. Dunque in tal

caso il moto potrà riguardarsi come uniforme, e lo spazio percorso sarà il prodotto della velocità nel tempo. Se pertanto si diano al mobile, dall'origine del moto, le velocità BF , CG , DH ec., che egli ha acquistate alla fine di ciascuna unità di tempo, lo spazio totale percorso sarà espresso dalla somma dei rettangoli $ABFf$, $BCGg$, ec. Se al contrario suppongasi che il mobile si muova in ciascuna unità di tempo colla velocità che ha all'origine, allora la somma degli spazj percorsi, sarà espressa da 0 , $BCaF$, $CDbG$ ec. La prima supposizione dà un risultato maggiore del vero, e la seconda un risultato minore. Ma la differenza sarà tanto più piccola, quanto più piccola sarà l'unità di tempo; ed il loro limite sarà l'area del triangolo AMN . Dunque indicando con s lo spazio totale, e con t il tempo corrispondente espresso da AN , sarà detto spazio espresso da $\frac{MN \cdot t}{2}$; e siccome MN è la velocità finale espressa da $v = gt$, così lo spazio percorso sarà espresso da

$$s = \frac{vt}{2} = \frac{gt^2}{2}$$

Così pure lo spazio s' percorso in qualunque altro tempo t' si esprimerà con $\frac{gt'^2}{2}$. Dunque si avrà

$$s : s' :: \frac{gt^2}{2} : \frac{gt'^2}{2}$$

e quindi

$$s : s' :: t^2 : t'^2$$

cioè a dire *gli spazj percorsi con moto uniformemente e continuamente accelerato stanno fra loro come i quadrati dei tempi.*

E poichè le velocità sono proporzionali ai tempi, *gli spazj medesimi staranno altresì come i quadrati delle velocità.*

Difatti dalle due seguenti proporzioni

$$s : s' = t^2 : t'^2$$

$$t^2 : t'^2 = v^2 : v'^2$$

si ricava che

$$s : s' = v^2 : v'^2$$

E dalle proporzioni

$$s : s' :: v^2 : v'^2$$

e

$$s : s' :: t^2 : t'^2$$

si ricava che

$$v : v' :: \sqrt{s} : \sqrt{s'}$$

e

$$t : t' :: \sqrt{s} : \sqrt{s'}$$

Conseguentemente le velocità ed i tempi stanno come le radici quadrate degli spazi percorsi dopo il principio del moto.

Se ora si supponga che alla fine del tempo t la forza acceleratrice cessi di agire, allora il corpo persevererà nel suo movimento con moto uniforme e colla velocità acquistata v , cioè a dire che in ciascuna unità di tempo egli descriverà uno spazio eguale $v t$, cioè a dire doppio dello spazio $\frac{v t}{2}$ che ha de-

scritto in egual tempo per l'azione successiva della forza acceleratrice. Dunque nel moto uniformemente accelerato, lo spazio percorso dal mobile in un dato tempo è la metà di quello che può descrivere in egual tempo colla velocità acquistata, continuata uniformemente.

La velocità di questo movimento uniforme, che succede al movimento accelerato, è precisamente ciò che si chiama *velocità del moto accelerato*. Vedremo delle utilissime applicazioni di questi principj trattando della gravità.

Dell'Equilibrio. Si dice che un corpo è in *equilibrio* quando è sollecitato da delle forze che si distruggono scambievolmente, o quando le forze che lo animano sono distrutte da qualche resistenza. Così un corpo è in equilibrio all'estremità di un filo che lo tiene sospeso, perchè il peso che lo sollecita è distrutto dalla resistenza del filo e da quella del punto di sospensione. Alcune volte l'equilibrio ha luogo senza punto fisso e senza apparente resistenza; così i pesci più pesanti stanno in equilibrio nell'acqua; un globo aereostatico, con tutto il suo corredo, può egualmente stare in equilibrio nell'aria; ma allora il peso che sollecita questi corpi è distrutto dalla pressione dell'acqua in un caso e dell'aria nell'altro, come avremo luogo di studiare in seguito.

Si può dire che tutti i corpi che appariscono in riposo non sono realmente altro che corpi in equilibrio, perchè sono sempre sottoposti all'azione di varie forze che si distruggono fra loro.

La *statica* ha per oggetto di determinare le condizioni di equilibrio dei corpi; e la *dinamica* ha per oggetto di determinare le leggi dei movimenti che si producono quando le condizioni di equilibrio non si verificano. La *meccanica* comprende

la statica e la dinamica, cioè le leggi di equilibrio e quelle di movimento. Per la perfetta intelligenza dei fenomeni fisici, che formeranno il soggetto del proseguimento del nostro Corso, è necessario esporre i principj generali della statica, e far conoscere le macchine più semplici, la cui costruzione da questi principj deriva.

Le forze non possono misurarsi che col prendere per unità una forza convenuta; nel modo stesso che si misurano le lunghezze ed i pesi prendendo per unità una lunghezza ed un peso determinati. Inoltre, poichè la nozione di grandezza non si applica direttamente alle forze, convien definire con precisione ciò che s'intende per *forze eguali*, *forze doppie* ec. Affinchè due forze sieno eguali, bisogna che si facciano equilibrio, quando si oppongono l'una all'altra su di un punto o alle estremità di una retta inflessibile. Due forze eguali danno una forza doppia quando si riuniscono, cioè a dire quando si fanno agire nello stesso senso e nella stessa direzione. Si avrebbe una forza tripla se si facessero agire nello stesso senso tre forze eguali, e così di seguito. Perciò se si conviene di rappresentare una forza con un numero o con una linea, la forza doppia di quella sarà rappresentata da un numero doppio o da una linea doppia ec. È in questo modo che noi possiamo sempre rappresentare le forze con delle grandezze numeriche o lineari, e fare su di esse le stesse operazioni che facciamo su queste grandezze.

Qualunque sia il numero delle forze che agiscono sopra un punto materiale, e qualunque sia la direzione di queste forze, esse non possono imprimere a questo punto che un solo movimento e in una determinata direzione. Ora si può concepire una tal forza, capace per sè sola di produrre lo stesso effetto di queste forze riunite, e questa forza è ciò che si chiama *resultante*. Chiamansi *componenti* le forze che rimpiazza. Così quando un battello si muove, sollecitato contemporaneamente dalla forza della corrente e da quelle del vento e dei remi, si può concepire una forza unica; una corda abbastanza forte, per esempio, che, essendo attaccata al battello fosse tirata in una tal direzione, con una tal forza da imprimere essa sola ad ogn'istante lo stesso movimento che tutte quelle forze riunite; questa corda ce ne rappresenterebbe la risultante. La cor-

rente, il vento, ed i remi, cessando di agire, e la corda di cui parliamo essendo loro sostituita, il risultato non sarebbe minimamente cangiato.

L'insieme di varie forze che concorrono a produrre un effetto si chiama un *sistema di forze*. È evidente che se ad un sistema di forze si aggiungesse una nuova forza che fosse eguale alla risultante e diretta in senso contrario, l'equilibrio avrebbe luogo in questo nuovo sistema di forze. Questa è la proprietà caratteristica della risultante. Così riprendendo l'esempio prescelto, se mentre le forze della corrente, del vento e dei remi esercitano la loro azione, si attaccasse al battello una corda abbastanza resistente, diretta in senso contrario di quella che rappresenta la risultante e tirata colla stessa forza, questa nuova forza produrrebbe l'equilibrio; il battello rimarrebbe fermo come se fosse ancorato, non potrebbe avanzare nè retrocedere nè muoversi da alcun lato, finchè non sopraggiungesse qualche nuova forza, o qualche cambiamento nelle forze in azione.

Resultante di varie forze che agiscono sopra uno stesso punto, e tendono a muoverlo su di una stessa linea. Quando tutte le forze che agiscono su di un punto tendono a muoverlo su di una stessa linea, si possono presentare due casi: 1.^o che tutte queste forze agiscano nello stesso senso, 2.^o che agiscano le une in un senso e le altre in un senso contrario. Nel primo caso la risultante è eguale alla somma delle forze; nel secondo è eguale alla differenza delle due risultanti parziali, e agisce nel senso della più grande.

Resultante di due forze che agiscono angolarmente sopra uno stesso punto. Se due forze eguali P e Q che rappresenteremo colle rette eguali AB e AC (Tav. I, Fig. 7) sono applicate ad un medesimo punto A , l'una nella direzione Ax e l'altra nella direzione Ay , la loro risultante è nel piano delle forze, divide per metà l'angolo BAC che fanno le direzioni di quelle forze ed è conseguentemente diretta lungo la diagonale AD del parallelogrammo $ABCD$, costruito tirando dai punti B e C le parallele BD e CD . Infatti non v'è ragione perchè questa risultante debba di-

rigersi da una parte più che dall'altra del piano, come non vi è ragione perchè essa debba accostarsi più all'una che all'altra direzione delle forze eguali P e Q . È chiaro altresì che le due forze eguali AB ed AC potranno essere applicate parallelamente a loro stesse in D senza cangiare minimamente la direzione e la intensità della risultante. Da ciò si deduce che quando si vuol trovare la direzione della risultante di due componenti angolari diverse fra loro, si costruisce su queste un parallelogrammo, e la sua diagonale ci rappresenta la direzione della risultante. Difatti le rette AM , AN (Tav. I, Fig. 8) ci rappresentino in direzione ed in intensità le due forze diverse P e Q che agiscono sul punto A . Noi potremo dividerle in tante parti eguali AB , BC , AH ec., i cui numeri sieno rispettivamente m , n ; queste diverse parti rappresenteranno delle forze, nelle quali si potranno dividere le prime. Conduciamo dai punti B , C ec., delle parallele ad AN , e pei punti H , K delle parallele ad AM ; queste rette divideranno il parallelogrammo $AMIN$ in losanghe eguali. Ciò posto, le due forze eguali AB , AH possono essere trasportate parallelamente ad esse stesse al punto D della bisettrice del loro angolo; sarauno allora dirette lungo i due lati BD , HD che le rappresenteranno anche in lunghezza. Facendo lo stesso alle due forze BD , BC , si trasporteranno su DE , CE , e così proseguendo, la forza AH sarà trasportata in MF , e la AM , in HF . Parimente, le forze HK , HF potranno essere trasportate in FG , KG e così di seguito, di maniera che le due forze AM , AN saranno trasportate in NI , MI senza che il loro effetto abbia cangiato. Ora, esse danno in I una risultante eguale a quella che davano in A , e il punto I appartiene alla direzione della medesima; e poichè anche il punto A vi appartiene, ne segue che questa direzione è rappresentata dalla retta che unisce i due punti A ed I . Perciò è chiaro che *la risultante di due componenti angolari segue nella sua direzione la diagonale del parallelogrammo costruito sulle linee che rappresentano queste forze in grandezza e in direzione*; ed è ciò che volevamo dimostrare.

Resta ora a determinare l'intensità della risultante delle due forze P e Q . A questo fine osserveremo che se noi applichiamo nella direzione AX (Tav. I, Fig. 9) opposta a quella della diago-

nale AI una forza R eguale alla risultante, vi sarà equilibrio tra le forze P , Q , R . Perciò la forza Q sarà, per esempio, eguale ed opposta alla risultante delle altre due forze P , R ; ed in conseguenza, se dal punto P conduciamo una parallela ad AX , la quale tagli in B il prolungamento di AQ , e dal punto B conduciamo BC parallela ad AP , la lunghezza AC rappresenterà la forza R ; poichè ogni altra grandezza, unitamente ad AP , darebbe un parallelogrammo, la di cui diagonale sarebbe differente da AB . Ma $AC=BP=AI$; dunque la risultante delle due forze P e Q è eguale ad AI . Perciò *la diagonale del parallelogrammo costruito sulle due forze rappresenta, in grandezza e in direzione, la risultante di queste forze.*

Questo principio, conosciuto col nome di *principio del parallelogrammo delle forze*, è il fondamento della statica, e può anche esser dimostrato coll'esperienza. L'apparecchio destinato a questo esperimento dicesi tavolino del parallelogrammo delle forze. Consiste in una tavola orizzontale MM' munita di lavagna, (*Tav. I, Fig. 10*) sui margini della quale si fissano tre carrucole mobilissime, e costruite in modo che possano girare in tutti i piani verticali, come vedesi in A , B , C . Si legghi un corpo leggiero O con tre fili, e si passi ciascuno di questi sopra una ruota; si attacchino dei pesi P , P' , R , scelti a volontà agli estremi delle corde. Il corpo O verrà allora tirato in una posizione determinata, ed ivi rimarrà dopo alcune oscillazioni in equilibrio per effetto dei tre pesi o forze. In questa situazione è chiaro che una di esse, p. es. R , distrugge l'effetto delle altre due P , P' , ma sappiamo che la medesima distruggerebbe l'effetto di una forza coincidente eguale ed opposta; dunque le due forze P , P' producon l'effetto di questa eguale e contraria ad R , ed essa sarà la loro risultante. Se nella direzione dei fili appartenente alle due forze P , P' , si tirano dall'angolo che esse formano due rette a p , a p' proporzionali in lunghezza ciascuna alla rispettiva forza, e ci serviamo di queste due rette come lati nella costruzione di un parallelogrammo a p r p' , la diagonale a r di questo, si troverà che rappresenta colla sua lunghezza la forza o peso R , e colla sua direzione quella della risultante.

Quando le due forze angolari sono eguali, abbiamo detto

che la risultante divide sempre il loro angolo in due parti eguali; ma in quanto alla sua intensità essa è ora eguale a quella delle componenti, ora più grande ed ora più piccola, come si vede nelle *fig. 11, 12 e 13 della Tav. I.*

Quando le due forze sono disuguali, la risultante divide il loro angolo in due parti ineguali; ed è sempre più vicina alla forza maggiore (*Tav. I, Fig. 14*).

Se un punto materiale è soggetto all'azione di molte forze angolari, potrà sempre aversi la risultante totale, cercando da prima la risultante di due di queste, poi quella di questa prima risultante con una terza componente e così di seguito.

La ricerca della risultante di più forze chiamasi *composizione delle forze*.

Frequenti sono gli esempj di composizione di forze angolari che ci cadono sotto gli occhi. Una barca tirata lungo un canale per mezzo di due corde da due uomini situati sulle rive, procede con una direzione e con una velocità che son quelle della risultante delle due forze che la fanno avanzare. Il barcajolo che vuol traversare un fiume, non dirige già il suo battello verso il punto a cui vuol giungere. Se così facesse sarebbe trascinato dalla forza della corrente, e giungerebbe molto al di sotto del punto a cui mira. È necessario che egli si diriga tanto più al di sopra di esso, quanta più velocità ha la corrente, affinchè il suo battello, seguendo la direzione della risultante delle due forze, giunga al posto prefisso. Sappiamo che i pesci nel muoversi nell'acqua urtano colla coda questo fluido dal lato opposto a quello a cui si vogliono volgere; ma se vogliono avanzare percuotono l'acqua con grande celerità ora a destra ed ora a sinistra, affine di prendere una direzione intermedia, essendo il loro movimento composto dei due impulsi datisi percuotendo colla coda l'acqua in due direzioni differenti.

Poichè due forze possono essere rimpiazzate da una sola, è chiaro che reciprocamente una sola forza deve potere essere rimpiazzata da due. Queste componenti saranno rappresentate dai lati del parallelogrammo avente per diagonale la forza data. Si vede ancora che v'ha un'infinità di sistemi differenti che possono dar luogo alla stessa risultante (*Tav. I, Fig. 15*)

e che reciprocamente v'ha un'infinità di maniere di rimpiazzare una sola forza col sistema di altre due, quando non si esige nulla di determinato nè sulla loro intensità, nè sulla loro direzione. Ma se si domanda di rimpiazzare una data forza con due altre forze, di una delle quali sia determinata la direzione e la intensità, allora il problema non ha che una soluzione, perchè non v'ha che un modo di determinare il parallelogrammo e di trovare l'altra componente.

Una forza potrà anche scomporsi in tre altre di cui sieno date le direzioni; basterà per avere le intensità delle componenti, di costruire un parallelepipedo sulle tre direzioni date, e del quale la forza data sia una delle diagonali (*Tav. I, Fig. 16*). La ricerca delle componenti di una data forza chiamasi *decomposizione o risoluzione delle forze*.

Resultante di due forze applicate in punti diversi di un corpo solido. Sieno P e Q (*Tav. I, Fig. 17*) due forze applicate a due punti qualunque di un corpo solido. Onde vi sia una resultante unica, bisogna che le direzioni di queste due forze sieno nello stesso piano. In questo caso si prolungheranno fino al punto di loro incontro C , e supponendo questo punto invariabilmente fissato al corpo, vi si potranno applicare le due forze P e Q , poichè l'effetto di una forza non è alterato quando si trasporta il suo punto di applicazione in un punto qualunque della sua direzione. Le linee AC e CB ci rappresenteranno per esempio, le due forze P e Q applicate al punto C , e quindi per trovare la loro resultante basterà costruire il parallelogrammo $ABCD$ e condurre la diagonale CD . Questa ci rappresenterà la resultante cercata, e la linea CR la sua direzione. Il punto di applicazione di questa resultante potrà essere sopra un punto qualunque di RC .

Resultante di due forze parallele che agiscono nella stessa direzione. Quando le forze P e Q (*Tav. I, Fig. 18*) sono parallele ed agiscono nella stessa direzione, si può sempre applicare ai punti A e B due forze M ed M' eguali, parallele ed opposte; esse non avranno alcuna influenza, ma si potrà allora prendere la resultante delle forze PM e QM' e applicare queste due resultanti al

loro punto d'incontro O . Se in seguito si decompongono queste due risultanti parallelamente alle prime componenti, si avranno due forze M ed M' eguali, parallele ed opposte che si distruggeranno, e le forze OE , OF eguali a P e Q che agiranno nella direzione di OE , e che si potranno considerare come applicate al punto C . La risultante di due forze parallele è dunque:

1.° Parallela alle componenti.

2.° Eguale in intensità alla loro somma se ambedue agiscono nello stesso senso, e quindi alla loro differenza se agiscono in senso contrario.

3.° Il punto in cui questa risultante taglia la retta AB , a cui sono applicate le due componenti, è tale che le distanze AC e CB sono in ragione inversa delle forze P e Q .

Le due prime conseguenze sono evidenti; la terza risulta dalla similitudine dei triangoli GPA , ACO ed HQB , BCO , da cui si ricava che

$$GP : PA :: AC : CO \text{ e } QH : QB :: CB : CO.$$

Da queste due proporzioni ne risulta la seguente, poichè GP e QH sono eguali

$$PA : QB :: CB : AC,$$

per cui

$$PA \times AC = QB \times CB,$$

cioè a dire

$$P \times AC = Q \times CB,$$

che è ciò che si voleva dimostrare.

Il punto C in cui passa la risultante delle forze parallele dicesi *centro delle forze parallele*.

La posizione di questo punto resta invariabile qualunque sia l'inclinazione delle parallele componenti sulla retta AB . Infatti il punto di applicazione della risultante non è determinato che dalla sola considerazione dei punti di applicazione e delle intensità delle forze, ed è perciò indipendente dalla loro direzione.

Resultante di un numero qualunque di forze parallele. Dopo ciò che precede sarà facile trovare la risultante unica di un numero qualunque di forze che agissero su dei punti invariabilmente uniti fra loro. Basterebbe di comporre successivamente due a due colle regole prestabilite. Se le forze sono dirette nello stesso senso, la risultante totale sarà eguale alla loro somma.

Delle Coppie. Due forze eguali, parallele ed opposte che agiscono angolarmente sopra una linea AC (Tav. 1, Fig. 19) costituiscono ciò che chiamasi *coppia*. Dopo ciò che si è detto relativamente alla risultante delle forze parallele, la risultante di una coppia è eguale a 0, e nullameno il sistema non è in equilibrio. È uno dei casi singolarissimi in cui due forze non possono essere rimpiazzate da una sola. Una coppia può essere bensì trasformata in una infinità di modi in un'altra coppia. Se si lascia agire la nostra coppia la linea AC prende un movimento rotatorio. Volendo nel caso della coppia ottenere equilibrio converrà distruggere separatamente l'effetto di ciascuna delle forze proposte, colla diretta opposizione di un'egual forza.

Momenti di rotazione delle forze. Per ottenere l'equilibrio tra due forze non è sempre necessario che sieno eguali ed opposte, ma basta che gli effetti che tendono a produrre sieno opposti, e che i loro sforzi sieno eguali. Allora l'equilibrio si stabilisce per mezzo di un punto fisso, intorno al quale le due forze tendono a produrre del moto, e la grandezza di queste forze deve misurarsi rispetto al punto medesimo. Tale si è il caso di una verga rigida AB (Tav. 1, Fig. 20) sospesa ad un punto fisso C e capace di ruotare intorno a questo punto fisso. Supponiamo equilibrate alle estremità di questa verga due masse diverse A e B le quali ci rappresentino due forze P e Q d'intensità diversa, dirette nello stesso senso, una delle quali tenda a far ruotare la verga AB intorno al punto C in un senso, l'altra in un'altro. Ruotando la verga AB intorno al punto C , se la massa A descrive un arco di cerchio Aa passando in a , la massa B descriverà un arco di cerchio Bb passando in b . Ora i due corpi A, B descrivono gli archi Aa, Bb in egual tempo, perciò le velocità colle quali percorrono questi spazj saranno proporzionali agli spazj medesimi; ossia, gli archi Aa, Bb , essendo simili, saranno le velocità come i raggi CA, CB . Questi non essendo eguali, le masse A e B sono animate da una velocità diversa; bisognerà dunque per l'equilibrio, che queste masse sieno in ragione inversa delle rispettive velocità, onde le quantità di movimento sieno eguali. Ma le velocità sono proporzionali ai raggi, converrà dunque per l'equilibrio

che

$$A : B = CB : CA.$$

Ma A e B ci rappresentano le forze P e Q , dunque si avrà

$$P : Q = CB : CA,$$

da cui

$$P \times CA = Q \times CB,$$

il che significa che i prodotti dei raggi CA , CB per le rispettive forze sono eguali. Questi prodotti diconsi *momenti di rotazione* delle forze P e Q . In generale dicesi *momento di rotazione* di una forza, il prodotto della perpendicolare abbassata dal punto intorno a cui si fa la rotazione, sulla direzione della forza, per la forza stessa. Questo prodotto serve a darci la misura dell'effetto rotatorio della forza. Dopo le quali cognizioni possiamo finalmente dare in un modo generale i principj dell'equilibrio di un corpo.

Perchè adunque un corpo sia assolutamente in equilibrio, è necessario che egli non possa muoversi di un moto progressivo secondo la direzione della risultante delle forze, nè ricevere alcun movimento rotatorio. Nel primo caso, trovata la risultante di tutte le forze che agiscono sopra il corpo, sarà impedito ogni suo moto progressivo, applicando al medesimo una forza eguale e contraria a questa risultante. A distruggere ogni movimento rotatorio bisognerà che la somma dei momenti delle forze che tendono a far ruotare il sistema in un senso, sia eguale a quella dei momenti delle forze che tendono a farlo ruotare nel senso opposto.

Movimento di un corpo sottoposto all'azione contemporanea di una forza istantanea e di una forza continua. Se un punto materiale è sottoposto all'azione simultanea di una o più forze istantanee, sappiamo che per la sua inerzia si muoverà nella direzione della forza risultante con una velocità costante e indefinitamente. Ma se questo punto materiale è sottoposto in varj istanti a nuove forze, è chiaro che il suo movimento cambierà ad ogni istante, e sarà quello delle risultanti delle forze che successivamente agiscono su di lui. Se una forza continua agisse sopra un punto in moto, nella direzione della sua velocità, i piccoli impulsi di quest'ultima forza si aggiungerebbero continuamente, e, produrrebbero un moto rettilineo, la velocità del quale sarebbe acce-

lerata se la forza continua agisse nel senso della prima forza, e decrescente se agisse in senso contrario.

Supposto poi che una forza continua agisca sopra un punto materiale A (Tav. I, Fig. 21) simultaneamente ad una forza istantanea e in direzione diversa da questa, è chiaro che il punto materiale descriverà un seguito di piccole linee rette, AB , BC , CD , DE , le quali saranno le direzioni delle risultanti successive della forza iniziale istantanea e della forza acceleratrice nei diversi istanti. Ma siccome le azioni della forza acceleratrice si succedono in un modo continuo, queste linee rette sono infinitamente piccole, e il loro insieme forma una linea curva. Tale si è, per esempio, il caso del movimento di un proiettile lanciato orizzontalmente da una bocca da fuoco, il quale descrive una curva sollecitato contemporaneamente dalla forza istantanea di proiezione, e da quella continua di gravità.

Forza centripeta. Un corpo che si muove in linea curva, può, dopo ciò che si è detto, considerarsi come se si movesse sulla tangente del punto in cui trovasi; e se la forza che lo devia in ogni istante cessasse di agire, egli continuerebbe a muoversi per la tangente. Chiamasi generalmente *forza centrale* quella che in ogn'istante devia il corpo dalla sua strada per fargli descrivere una linea curva. Se il moto del corpo si considera rispetto ad un punto fisso, allora se la forza centrale tende ad avvicinare il corpo a questo punto, dicesi *forza centripeta*.

In conseguenza della tendenza che ha un corpo che si muove in linea curva di fuggire nella direzione della tangente, si genera una forza che tende a portare il corpo lungi dal centro della curva medesima, e che produce una pressione che si esercita ad ogn'istante perpendicolarmente alla stessa curva. È questa la

Forza centrifuga. Sia A (Tav. I, Fig. 22) un corpo ritenuto al punto fisso C da un filo inestendibile o da una verga inflessibile. Se si dà a questo corpo un impulso in qualsivoglia direzione tendente a discostarlo dal centro, esso descriverà necessariamente la circonferenza che ha per raggio CA , il che si concepisce facilmente nel modo seguente. In qualunque

punto sia giunto il corpo esso tende a muoversi secondo la tangente AB ; ma non potendo seguire questa direzione, il suo moto si risolve in due altri, l'uno ab nella circonferenza, e che ha il suo effetto, l'altro AD , che è distrutto dal punto fisso C . La forza per la quale il corpo tende a fuggire per la tangente AB , dicesi *forza tangenziale*. La forza per la quale il corpo tende a fuggire per la normale DA è la forza centrifuga. Essa adunque deriva dalla forza tangenziale, ed altro non è che una delle sue componenti.

La terra, e tutti i pianeti che circolano intorno al sole, sono sottoposti all'azione delle forze centripeta e centrifuga: questa nasce dal loro movimento di rotazione, e tende ad ogni istante ad allontanarli dal sole, che è il centro del loro movimento; la forza centripeta invece, la quale nasce dall'attrazione del sole, tende costantemente ad avvicinarveli.

La produzione della forza centrifuga si rende evidente, facendo ruotare con una mano una palla di piombo legata ad una corda. Noi vediamo il filo distendersi, e la nostra mano sente lo sforzo continuo che esercita la palla di piombo per allontanarsi dal centro del movimento. Se la palla verrà ad un tratto a staccarsi dal filo essa fuggirà nella direzione della tangente sulla quale si trova. Quando la palla di questa fionda gira lentamente, la corda è poco tesa, quando invece gira velocemente, la corda si tende maggiormente. Perciò *la forza centrifuga varia proporzionalmente alla velocità di rotazione*.

Da ciò risulta che *in circoli ineguali percorsi nello stesso tempo, le forze centrifughe sono proporzionali ai raggi*.

Questa legge si può dimostrare con un apparecchio assai semplice. Consiste in una molla circolare ab (Tav. I, Fig. 23) infilata in un'asse c . Allorchè si fa ruotare quest'asse per mezzo della manovella m , e della corda incrociata d , la molla diviene ellittica, e tanto più, quanto più grande è la velocità di rotazione. I punti della molla che sono più lontani dall'asse, e che conseguentemente descrivono circoli maggiori, sono quelli che se ne allontanano maggiormente per l'azione della forza centrifuga.

Un altro apparecchio atto a dimostrare la stessa legge consiste in un filo orizzontale AB (Tav. I, Fig. 24) teso per

mezzo di due viti situate alle estremità del telaio $ACDB$, il cui lato orizzontale CD , mobile intorno ad un asse verticale EF , che passa pel suo centro, può ricevere un movimento di rotazione più o meno rapido. Nel filo AB sono inflatte due palle in modo che possano muoversi col minor fregamento possibile: si pongono a diverse distanze dal centro e si fa girare la macchina: si osserva allora che le palle sono scacciate lungi dal centro con una velocità tanto più grande quanto più lontane erano in principio dal centro medesimo, e che rimangono perfettamente immobili quando ciascuna di esse è posta al centro, perchè allora le forze centrifughe delle varie parti della palla si fanno scambievolmente equilibrio.

Coi seguenti apparecchi si dimostra un'altra legge della forza centrifuga, cioè *la sua proporzionalità colla massa rotante*. Uno di questi è simile al precedente (*Tav. I, Fig. 25*), ma in esso si rimpiazza il filo AB con due tubi di vetro MN e $M'N'$ chiusi, un poco inclinati, e contenenti dei liquidi d'ineguale densità o uno stesso liquido e dei corpi solidi più pesanti e più leggieri dell'acqua; si osserva che per la rotazione i corpi i più pesi salgono nella parte superiore dei tubi. Quest'ultimo fenomeno si spiega facilmente. La forza colla quale i corpi tendono ad allontanarsi dal centro di rotazione è proporzionale alla loro massa, quindi i liquidi più pesanti sono spinti più lungi dal centro di movimento, e dovendo muoversi in tubi inclinati salgono nella parte superiore di questi.

L'altro apparecchio consiste in un pallone di vetro, in parte pieno di acqua, capace di ruotare intorno ad un asse orizzontale. Nella sua rotazione l'acqua è tutta spinta contro le pareti, mentre l'aria raccogliasi nella sua parte centrale.

Le leggi della forza centrifuga servono a spiegare un fatto fisico importante, che riguarda la forma del nostro globo. Ognun sa che la terra non è perfettamente una sfera, ma che è alquanto schiacciata ai poli, essendo il diametro polare più piccolo di $\frac{1}{304}$ del diametro equatoriale. Si è spiegato questo schiacciamento della terra supponendola in origine di una consistenza tale da potere obbedire all'azione della forza centrifuga sviluppata per la sua rotazione; in questo caso sarebbe accaduto alla terra, ciò che abbiamo veduto accadere

alla molla circolare ruotante sull'asse. Vedremo nel trattato del calore, che vi sono dei fatti, i quali mostrano che realmente la terra era in origine di materia semifusa, e che tuttora conserva il suo nucleo in questo stato.

Comunicazione del moto. La maggior parte delle forze che mettono i corpi in moto non agiscono in modo diretto che sopra un piccolo numero delle molecole che li compongono. Così quando si urta una palla di biliardo, si toccano solo pochi punti della sua superficie; quando il vento spinge una nave non urta che le vele, e quando la polvere spinge una palla di cannone, i gas che si sviluppano e che danno l'impulso non toccano e non spingono che il suo emisfero interno. Nullameno tutte le parti di questi corpi si muovono, tanto quelle sulle quali agisce direttamente la forza quanto quelle sulle quali non agisce. Bisogna adunque che accada una eguale distribuzione del moto fra tutte le molecole, e che solo quando questa divisione si è operata il corpo cominci a muoversi. Le molecole che sono direttamente urtate spingono le vicine, queste le seguenti, e così di seguito finchè tutta la massa sia tolta dallo stato d'inerzia e che tutte le parti si muovano di un moto comune. Onde il moto passi da una molecola all'altra e si spanda in tutta la massa si esige un certo tempo, che non è molto grande ma neanche infinitamente corto: esso dipende dalla massa e dalla natura del corpo, ed è questa la ragione per la quale, come si diceva poc'anzi, non vi sono mai movimenti istantanei.

Quando un corpo in moto incontra un corpo in riposo o un altro corpo in moto, si producono degli effetti particolari che dipendono dalla elasticità, dalla durezza e dalla massa relativa dei corpi. Per elasticità s'intende quella proprietà dei corpi di cambiare di forma per una forza esteriore, e nel riprenderla cessata la forza. Cotale proprietà si rende evidente con una lastra di acciaio tenuta fissa ad una sua estremità dentro una morsa. Se si preme all'altra estremità, la lastra s'incurva, ed allorquando si cessa di premerla riprende la sua posizione naturale. Fino ad oggi la scienza non è giunta a far l'analisi dei fenomeni dell'urto dei corpi se non che supponendo questi perfettamente elastici, o supponendoli

completamente privi di elasticità; ipotesi che non sono vere nè l'una nè l'altra, ma da cui deduconsi nullameno alcune regole semplici che sono utilissime nella pratica. Noi non possiamo qui considerare che i corpi senza elasticità; i singolari fenomeni dei corpi elastici saranno da noi studiati in seguito:

1.° Quando due masse eguali non elastiche e animate dalla stessa velocità vengono ad urtarsi direttamente, esse arrestansi ad un tratto e restano in riposo nel luogo stesso in cui l'urto ha avuto luogo. È un principio da per sè stesso evidente, giacchè queste masse non possono rimbalzare essendo prive di elasticità, e l'una non può trascinare l'altra e spingerla dinanzi a sè, poichè tutto è eguale nei due opposti sensi. Così due palle di piombo perfettamente eguali che fossero lanciate nello stesso tempo colla stessa forza, giungendo l'una presso l'altra colla stessa velocità si appianerebbero, perchè esse non sono nè abbastanza dure nè abbastanza elastiche, e rimarrebbero senza movimento. Se esse cadono dopo l'urto, ciò è un effetto del loro peso e non di un resto di velocità che non sia stato distrutto.

2.° Questo principio si applica alle masse ineguali, alla sola condizione che le loro quantità di movimento sieno eguali tra loro; cioè a dire che se una delle masse è doppia dell'altra, basta che questa abbia una velocità doppia per essere capace di arrestare la prima; una massa che fosse cento volte più piccola dovrebbe avere una velocità cento volte più grande per produrre lo stesso effetto, e così di seguito: una palla di piombo di 25 grammi ne fermerebbe una di colubrina del peso di 500 grammi se avesse una velocità venti volte più grande di quest'ultima. Due quantità di movimento eguali e contrarie si distruggono completamente quando l'elasticità non è in giuoco, perchè esse sono in realtà due forze eguali e contrarie.

3.° Quando le quantità di movimento sono ineguali è la maggiore che vince; il mobile che ne è animato spinge dinanzi a sè l'altro mobile, lo costringe a tornare indietro, e a partire da quell'istante si muovono insieme con una velocità comune. Allora la quantità di movimento che resta non è che la differenza delle due quantità di movimento primitive; e sic-

come è applicata alla somma delle due masse, si vede che la velocità residua non è altro che questa differenza delle quantità di movimento divisa per la somma di queste masse. Se i mobili andassero nello stesso senso, le quantità di movimento si aggiungerebbero, e la velocità comune che succederebbe all'urto sarebbe allora la somma delle quantità di movimento divisa per la somma di queste masse.

Queste conseguenze si applicano al caso in cui un mobile incontra un corpo in riposo; giacchè per avanzare è costretto di spingere dinanzi a sè questo corpo, e conseguentemente di comunicargli una tal quantità di movimento, che dopo l'urto si muovano insieme con una velocità comune. Se la massa del corpo in riposo è eguale a quella del mobile, è chiaro che dopo l'urto il moto sarà egualmente diviso fra le due masse, e la velocità non dovrà essere che la metà, poichè la massa è divenuta doppia; essa non sarebbe che il terzo della velocità primitiva se la massa in riposo fosse doppia della massa del mobile; e si vede che in generale il rapporto fra la velocità dopo l'urto e quella prima dell'urto, è lo stesso che fra la massa del corpo in moto e la somma della massa in moto colla massa in quiete; onde per avere il primo basta dividere la massa del mobile per la somma delle masse del mobile e del corpo in riposo.

Sia V la velocità della massa M in moto, M' la massa in quiete e V' la velocità delle due masse dopo l'urto, è chiaro pei principj esposti che

$$VM = V' (M + M'),$$

da cui si ha che

$$\frac{V'}{V} = \frac{M}{M + M'}$$

e quindi

$$V = \frac{V' (M + M')}{M}.$$

Così il movimento si comunica e non si perde mai: quando sembra estinguersi ciò dipende in realtà perchè esce dal mobile per passare nei corpi che trovansi sulla sua strada, e da questi successivamente nei contigui dove diviene insensibile

per la grande diffusione che prova. Per distruggere un movimento è necessario un movimento: le resistenze, gli attriti, come si chiamano, lo disperdono, ma non lo distruggono.

È sugli esposti principj che è fondato un istrumento destinato a determinare la velocità dei proiettili, e che ha ricevuto il nome di *Pendolo Balistico*.

Consiste il pendolo balistico in una scatola conica di bronzo *D* (Tav. I, Fig. 26), sospesa all'estremità di un'asta di ferro *g h*, terminata essa stessa nella sua parte superiore da un asse orizzontale formato da due orecchioni a coltello che posano su dei piani di acciaio fuso. Questo sistema costituisce adunque un pendolo mobilissimo. La scatola *D* contiene una massa di piombo, nella quale va ad immergersi la palla. L'asta è fornita di un appendice nel punto *r*, la quale si muove sull'arco graduato *l k* e spinge un indice che si muove a sfregamento sull'arco medesimo. Una palla di fucile o qualunque altro proiettile scagliato contro la scatola del pendolo lo pongono in movimento, e dall'arco percorso dall'indice per l'urto, si calcola la velocità ricevuta. Conosciuta la quale nulla più s'ignora, perchè le due masse si conoscono, e la velocità del proiettile, che è l'incognita, si deduce dalla formola

$$V = \frac{V' (M + M')}{M}$$

cioè a dire è eguale al quoziente che si ottiene dividendo per la massa del proiettile il prodotto della velocità dopo l'urto per la somma delle due masse.

Nella comunicazione del movimento si presentano dei fenomeni singolari, che dipendono dallo stato di aggregazione dei corpi e dalla rapidità colla quale il movimento può trasmettersi di molecola in molecola nell'interno di una stessa massa. Si sa p. es. che una palla di fucile traversa una lastra di vetro senza romperla e che vi fa solamente un foro della grandezza della palla. Ora ciò non dipende che dalla estrema velocità della palla, poichè se si scaglia colle mani la medesima palla contro la stessa lastra, la mette in pezzi. Quando la palla è posta in moto dalla forza espansiva della polvere, le molecole della lastra da lei toccate sono trasportate con tal

velocità, che non hanno il tempo di trasmettere all'intorno il movimento che ricevono. È per la stessa ragione che si è visto non di rado una palla di cannone dividere in due parti la canna del fucile di un fante, senza che questi risentisse la minima impressione. Parimente, si credeva che una bomba potesse trascinar seco una corda ad essa avvolta, la quale non avesse che a svolgersi per seguirne il movimento; ma l'esperienza ha mostrato che ciò non può effettuarsi e che la corda si spezza e non segue la bomba a meno che non abbia una tenacità particolare. Sarebbe necessario che l'adesione fra le molecole della corda fosse tale da resistere alle trazioni che riceve ad ogni istante.

Un altro fenomeno di comunicazione di movimento, si è quello che si prova stando in una carrozza, quando questa si pone in moto con una certa velocità. Le nostre spalle vanno ad urtare contro la sua parete posteriore. Quando invece la vettura si arresta ad un tratto, la nostra persona è spinta in avanti. Ciò dipende perchè nel primo caso il nostro corpo, non avendo che poca aderenza colle varie parti della carrozza, è necessario un certo tempo prima che il movimento di essa gli si comunichi. Perciò tutte le parti della carrozza sono in moto prima assai che lo sia il nostro corpo, e quindi questo viene ad essere urtato dalla parete posteriore della carrozza. Nel secondo caso invece tutte le parti della carrozza si pongono in quiete assai prima della nostra persona, la quale è spinta contro la parete anteriore che è divenuta immobile.

Lo stato di aggregazione delle parti costituenti il corpo urtato ha dunque molta influenza sulla comunicazione del movimento. In un corpo in cui le molecole saranno molto vicine e strettamente unite, il movimento si comunicherà rapidamente a tutta la massa, e l'impulso produrrà su di essa tutto il suo effetto; invece in un corpo le cui molecole saranno assai lontane e debolmente unite, l'impulso produrrà tutto il suo effetto soltanto sulle molecole su cui direttamente agisce; e queste non potranno comunicare il loro movimento alle vicine, come accade nei corpi fragili; ovvero le molecole colpite cederanno all'urto e seguiranno il movimento del proiettile togliendogli una porzione della sua velocità; e questo

seguitando il suo cammino incontrerà nuove molecole a cui pure comunicherà il suo movimento, e così proseguendo verrà a poco per volta a perdere intieramente la sua velocità ed a cessare di muoversi; e ciò avviene nell'urto dei corpi molli.

Tali principj ci spiegano perchè una muraglia costruita di parti consistenti e dure, crolli più facilmente sotto i colpi del cannone di una costruita di parti fragili o molli; ed anco perchè le materie soffici e cedevoli, come dei cuscini o delle balle di cotone smorzino ed estinguano i colpi dei proiettili. Galileo diceva con ragione, *che la misura della forza della percossa si deve prendere non dal corpo che percuote, ma più presto da quello che riceve la percossa.*

Delle Macchine. Dicesi macchina ogni istrumento destinato a trasmettere nel modo più vantaggioso l'azione delle forze ad un corpo o ad un peso a cui vuolsi imprimere un certo movimento secondo una determinata direzione.

Nell'uso delle macchine non si ha sempre lo scopo di aumentare l'azione di cui sarebbe capace la forza motrice quando operasse direttamente sul mobile. Talvolta si ha bisogno unicamente di trasmettere l'azione in una determinata direzione. Altre volte si ha solo in vista di accrescere la velocità a scapito della intensità; altre volte di convertire l'effetto di una forza in quello di un'altra, come nell'orologio in cui si cambia l'effetto di una forza continua in un moto uniforme.

Siccome l'oggetto più interessante di una macchina si è quello di aumentare l'azione di una forza, così la teorica si occupa principalmente a determinare una certa forza che sia capace di vincere una data resistenza. Per ottenere un tale effetto si procura primieramente di ridurre la forza e la resistenza allo stato di equilibrio, perchè allora si può subito far prevalere l'una all'altra.

Quindi il problema generale intorno alle macchine si riduce a determinare l'equilibrio tra una forza qualunque ed una qualunque resistenza. Questo problema si risolve col trovare nelle macchine un punto di appoggio interno a cui si possa fare equilibrio tra la forza e la resistenza. Perciò la cognizione di una macchina comprende essenzialmente tre

cose: la forza motrice, la resistenza da vincersi, ed il punto di appoggio che è comune alla resistenza ed alla forza.

La forza motrice, detta anche *potenza*, che si applica alle macchine, è tutto ciò che può produrre un moto uniforme. Secondo le varie occorrenze, essa è talora l'urto momentaneo, sempre ripetuto, di un fluido, per es. dell'acqua o dell'aria; talvolta è l'azione di una molla o quella di un corpo grave o di un animale. La resistenza consiste nella somma degli ostacoli che fanno contrasto alla forza. Infatti se vuolsi determinare con precisione l'effetto di una macchina data, fa d'uopo sottomettere al calcolo non solo l'ostacolo principale contro cui la forza è applicata, ma ancora l'attrito, la rigidità delle funi, ec. Finalmente il punto di appoggio, è ciò che sostiene la potenza da una parte, e la resistenza dall'altra; e può riguardarsi come una forza che opera in direzione opposta alla potenza ed alla resistenza.

Le macchine procurano all'uomo grandi vantaggi, imperocchè gli permettono d'impiegare più utilmente e più comodamente le forze che sono a sua disposizione. Così p. es. se trattasi d'innalzare a qualche altezza un corpo molto pesante, non si potrà spesso volte eseguire tal cosa coll'applicazione immediata delle braccia degli uomini; ma per mezzo di una qualche macchina potranno essi operare senza scomporsi, e far uso delle loro forze naturali in una maniera comoda e vantaggiosa. Sebbene vi sia un'infinità di macchine differenti, si possono non di meno considerare tutte come risultanti dalla varia combinazione di un piccol numero di macchine semplici. Queste possono ridursi a sei, e sono: la *leva*, la *carruccia o puleggia*, il *tornio*, il *piano inclinato*, la *vite* ed il *cuneo*.

Della leva. La leva è una verga inflessibile, retta o curva, libera di ruotare intorno ad un punto di appoggio fisso, e destinata a mettere in equilibrio delle potenze. Chiamasi braccio della leva la lunghezza della perpendicolare abbassata dal punto di appoggio sulla direzione o prolungamento della forza. Le forze applicate alla leva prendono al solito i nomi l'una di potenza, e l'altra di resistenza.

Siccome l'uso più ordinario della leva si è quello di sostenere un peso per mezzo di una potenza e di un appoggio, così le differenti situazioni che il peso e la potenza possono avere rispetto al punto di appoggio hanno fatto immaginare tre generi di leva.

Dicesi *leva di 1.^o genere* quella in cui il punto di appoggio *A* (*Tav. II, Fig. 27*) è situato tra il peso o resistenza *R*, e la potenza *P*. Il peso e la potenza agiscono nello stesso senso, e il punto di appoggio è posto sotto la leva.

La *leva di 2.^o genere* è quella in cui la resistenza *R* è posta tra il punto di appoggio *A* (*Tav. I, Fig. 28*) e la potenza *P*. La potenza ed il peso agiscono in senso contrario, e l'appoggio è pure situato sotto la leva.

Finalmente nella *leva di 3.^o genere*, la potenza *P* (*Tav. II, Fig. 29*) è situata tra il punto di appoggio e la resistenza; il punto di appoggio è situato al di sopra della leva, e la potenza e la resistenza agiscono in senso contrario.

Ciò posto vediamo primieramente quali sono le condizioni di equilibrio della leva retta, dove la resistenza *R* e la potenza *P* sono applicate ai punti *B* e *C* nelle direzioni parallele *BR* e *CP*. In tal modo *AB* sarà il braccio di leva della resistenza e *AC* quello della potenza. Ora per l'equilibrio di queste due forze egli è necessario e basta che la loro risultante venga a passare pel punto di appoggio *A*. Ma la forze essendo parallele, la loro risultante taglia la retta che congiunge i loro punti di applicazione in parti inversamente proporzionali a queste forze, dunque la retta *BC* dev'essere talmente divisa nel punto *A* da avere la proporzione

$$R : P :: AC : AB$$

il che mostra che *nel caso dell'equilibrio, la resistenza e la potenza sono in ragione inversa dei loro bracci di leva*. Se ne deduce che

$$R \times AB = P \times AC$$

ossia che per l'equilibrio della leva il momento di rotazione della potenza deve essere eguale al momento di rotazione della resistenza.

Il carico che sopporta il punto di appoggio, ed al quale dev'essere capace di resistere, è espresso dalla risultante

delle due forze P ed R . Quindi questo carico sarà eguale alla somma $P + R$, quando le forze P ed R operano nello stesso senso, come nella leva di 1.^o genere, e sarà eguale all'eccesso della più grande sulla più piccola quando la forze P ed R sono dirette in senso contrario, come nelle leve di 2.^o e 3.^o genere.

Le leve si adoperano nelle arti e negli usi più ordinari della società. Sono leve di primo genere le forbici comuni, le cesoje, le tanaglie ec.: lo sforzo della mano o delle dita che premono i due manichi costituisce la potenza; la vite che le tiene unite è il comune punto di appoggio, e ciò che si taglia o si stringe è la resistenza. Anche la bilancia e la stadera sono leve di primo genere. La prima ha le sue braccia eguali; la seconda ineguali. Sono leve di 2.^o genere i remi che mandano avanti un battello, dove l'acqua è l'appoggio di una delle sue estremità, la mano che opera all'altra estremità è la potenza, e nel mezzo del remo v'è la resistenza, cioè il battello che si spinge; il coltello da panattiere, che fissato per la punta sulla tavola, e girando intorno a un punto fisso, è portato dalla destra contro la resistenza da vincere; i soffietti da camminetto o da fabbrica, dove la vera resistenza è la massa d'aria rinchiusa ec. ec. Sono leve di 3.^o genere i pedali dell'organo e delle macchine da arruotino, come pure le molle comuni che sono destinate a trasportare dei tizzoni, i quali formano la resistenza; la mano che le fa agire, è la potenza, e il punto di appoggio trovasi nel punto in cui si uniscono le due leve che le compongono. Il braccio dell'uomo nel sostenere un peso alla sua estremità fa pure l'ufficio di una leva di 3.^o genere, in cui il punto di appoggio trovasi nell'articolazione del gomito, i muscoli applicati poco distante dal gomito sono la potenza, e la resistenza è il peso da innalzarsi.

I tre generi di leve hanno delle proprietà differenti per riguardo alla potenza ed alla resistenza.

1.^o Nella leva di primo genere la potenza può essere eguale, maggiore o minore della resistenza, perchè il braccio AB può essere eguale, maggiore o minore del braccio AC .

2.^o Nelle leve di 2.^o genere la potenza è sempre minore della resistenza, poichè il braccio AC è sempre maggiore del braccio AB .

3.^o Finalmente nella leva di 3.^o genere la potenza è sempre maggiore della resistenza; perchè il braccio AC della potenza è sempre minore di quello AB della resistenza.

Quando si farà passare una leva dalla quiete al moto, nei primi due casi la potenza andrà più veloce della resistenza, precisamente nella stessa ragione in cui la potenza sarà minore della resistenza, e nel terzo caso la potenza andrà meno veloce della resistenza nella stessa ragione in cui la potenza è maggiore della resistenza; imperciocchè in tutti i casi, le velocità della potenza e della resistenza sono proporzionali agli archi simili che esse descrivono nello stesso tempo, ovvero alle distanze delle loro direzioni dal punto di appoggio. Quindi nei primi due generi di leva si perde in tempo ciò che si guadagna in forza, e nel terzo genere si perde in forza ciò che si guadagna in tempo. Per rischiare la cosa con un esempio, supponiamo che per mezzo di una leva di primo genere si voglia sostenere un peso di cento libbre con una forza equivalente a sole dieci libbre; la cosa sarà facile adoprando il braccio della potenza dieci volte più lungo di quello della resistenza. Ma se vogliasi comunicare del movimento a questa resistenza, dopo avere aumentato la potenza di quanto è necessario ad ottenere l'intento, si riconoscerà immantinente che la potenza deve percorrere nello stesso tempo uno spazio dieci volte più grande di quello che percorre la resistenza. Quindi è che a sollevare un peso ad un piede d'altezza, dovrà il punto in cui è applicata la potenza discendere di 10 piedi, e se la potenza non può percorrere questi dieci piedi che in un minuto di tempo, il peso non salirà che di un piede per minuto.

Più leve combinate insieme formano un *sistema di leve*. Ad una leva BC (Tav. II, Fig. 30), a cui sia attaccato un peso R , che possa equilibrarsi con una potenza P applicata in C , si unisca un'altra leva $B'C'$ posta in modo che la reazione da vincersi dalla forza P serva di resistenza a questa seconda leva $B'C'$; e a questa seconda leva $B'C'$, se ne applichi una terza $B''C''$, che del pari tenga luogo di potenza, e di cui la resistenza sia lo sforzo che la leva $B'C'$ fa contro l'estremità B'' . Sia infine applicata a quest'ultima leva la potenza

P' che fa equilibrio al peso R . Qual sarà il rapporto tra questa potenza e quella resistenza?

Chiamiamo S ed S' gli sforzi delle leve $B' C'$ e $B'' C''$ rispettivamente contro le leve BC e $B' C'$. Siccome nella prima leva la potenza consiste nello sforzo S ; avremo che

$$R : S :: AC : AB,$$

e nella seconda la potenza consistendo nello sforzo S' , mentre la resistenza è lo sforzo S , si avrà

$$S : S' = A' C' : A' B'$$

Infine per l'equilibrio dell'ultima leva si avrà che

$$S' : P' = A'' C'' : A'' B''$$

Moltiplicando per ordine i termini di queste tre proporzioni avremo

$$R : P' = AC \times A' C' \times A'' C'' : AB \times A' B' \times A'' B''$$

dal che si conclude che in un sistema di leve la potenza sta alla resistenza, come il prodotto dei bracci di resistenza sta al prodotto di quelli di potenza.

Vedesi da ciò che moltiplicando il numero delle leve e disponendole in modo che col braccio più lungo favoriscano sempre la potenza, si potrà con una piccolissima potenza equilibrare un peso enorme. Quindi non è da meravigliare se il celebre Archimede affermava che datogli un punto d'appoggio fuor della terra avrebbe potuto sollevare il globo.

Della puleggia. Questa macchina, detta anche *carrucola*, è una girella o una ruota AB di legno o di metallo (*Tav. II, Fig. 31 e 32*) la cui circonferenza ha una scanalatura per ricevere una fune tirata da una parte e dall'altra da due potenze R e P . Essa è attraversata perpendicolarmente al suo centro C da un'asse o caviglia, che gira liberamente e che è sostenuta dalle branche di una staffa o incassatura CD in cui la ruota gira. La puleggia dicesi *fissa* (*Tav. II, Fig. 31*) quando la staffa è attaccata ad un punto fisso H , e la potenza P e la resistenza R sono applicate ai capi della fune che s'accavalla alla girella. La puleggia dicesi *mobile* (*Tav. II, Fig. 32*) quando alla staffa CD è appesa la resistenza R , e la carrucola si muove con la resistenza medesima restando fisso in H un capo della fune.

Cominciamo a studiare le condizioni di equilibrio della carrucola fissa. Supponiamo che una corda perfettamente fles-

sibile *PADBR* (*Tav. II, Fig. 33*) passi nella scanalatura della carrucola ed abbracci un arco *ADB* della sua circonferenza; applichiamo alle estremità di questa fune delle forze *P* ed *R* che agiscano nelle direzioni *AP* e *BR* tangenti alla carrucola nei punti *A* e *B*. Prescindendo dall'attrito della fune contro la scanalatura della carrucola, egli è evidente che per l'equilibrio dovrà essere $P=R$, perciocchè se queste forze fossero disuguali, la corda scorrerebbe dalla parte della più grande. Si può giungere alla stessa conclusione cercando la necessaria condizione per la quale la risultante delle forze *P* ed *R* venga a passare pel punto fisso *C*; e determinando la grandezza di questa risultante si ha il vantaggio di conoscere la pressione che questo punto sopporta. Prolunghiamo pertanto le tangenti *AP* e *BR* finchè s'incontrino nel punto *O*; trasportiamo le forze *P* ed *R* al punto *O* comune alle loro direzioni; la loro risultante passerà per questo punto. Ma siccome il centro *C* della carrucola è il solo punto fisso che esiste nella macchina, così essa dovrà altresì passare pel punto *C*, affinchè ivi possa esser distrutta: dunque questa forza dovrà esser diretta secondo *OC*. Ora la retta *OC* divide in due parti eguali l'angolo *POR* delle due componenti; dunque fa d'uopo che sia $P=R$, senza di che la direzione della risultante non coinciderebbe colla retta *CO*. Ciò posto se prendansi sulle direzioni *OP* ed *OR* delle parti eguali *Oa* e *Ob* per rappresentare le componenti, e compiasi il parallelogrammo *Oacb*, la risultante sarà rappresentata dalla diagonale *Oc*, ed esprimerà la pressione che sopporta il punto fisso *C*. Dunque chiamando *x* questa pressione si avrà

$$x : P :: Oc : Oa,$$

ma i due triangoli isosceli *Oac* e *ACB*, che hanno i lati perpendicolari fra loro sono simili e danno

$$Oc : Oa :: AB : AC,$$

dunque si avrà

$$x : P :: AB : AC,$$

cioè a dire, una delle due forze eguali applicate alla carrucola fissa, essendo rappresentata dal raggio *CA*, la pressione che prova il suo centro è rappresentata dalla corda *AB* dell'arco *ABD* abbracciato dalla fune. Questa pressione è la massima quando le due forze sono parallele, perciocchè allora la

fune abbraccia la semicirconferenza della carrucola, la corda diviene il diametro, e la pressione risulta il doppio di una delle due forze, ossia è eguale alla loro somma.

Adunque nella carrucola fissa, la potenza eguaglia sempre la resistenza, e la pressione che sopporta il punto fisso C della medesima, è misurata dall'arco abbracciato dalla fune.

La carrucola fissa offre il mezzo di cangiare la direzione di una forza senza aumentare nè diminuire la sua intensità. Sia p. es. la fune PDR attaccata ad un mobile colla sua estremità R , e la forza P sia sempre applicata alla estremità P , secondo la direzione AP ; col mezzo della carrucola fissa $ADBC$ la forza P agirà sul mobile secondo la direzione BR ; ma lo sforzo che essa eserciterà sopra questo corpo non sarà nè più grande nè più piccolo che se fosse immediatamente applicata al punto R , secondo questa direzione RB .

Da quanto si è detto fin qui chiaramente si scorge che la carrucola fissa non può favorire la potenza, nè rispetto alla forza nè rispetto al tempo. Ma essa è molto vantaggiosa, in quanto che offre alla potenza un modo di operare assai comodo, quando si tratta di comunicare del moto ad una resistenza. Dehbasi p. es. cavare dell'acqua da un luogo profondo. Se per mezzo p. es. di un secchio sospeso ad una corda volessimo cavare quest'acqua direttamente coll'operare dal basso all'alto, non potremmo ciò effettuare che con grande stento, ed i muscoli del nostro corpo non poco soffrirebbero da questo modo di operare. Ma se avvolgendo la corda ad una carrucola fissata al di sopra del pozzo, si caverà l'acqua nel modo usato, la fatica sarà assai minore, poichè in tal caso si opera dall'alto al basso, e si può in tal guisa ajutare l'azione dei muscoli col peso del corpo medesimo.

Esaminiamo ora le condizioni di equilibrio della carrucola mobile.

In questa puleggia (*Tav. II, Fig. 34*) il centro C è perfettamente libero; la fune $PADBQ$ è attaccata colla sua estremità Q ad un punto fisso; si applica all'altra estremità P , nella direzione PA , una forza data P , e si sospende alla estremità H della cassa un peso R , che si riguarda come la resistenza, ed è tenuto in equilibrio dalla potenza P . Per

trovare il rapporto fra la potenza e la resistenza nella carrucola mobile, qualunque sieno le direzioni delle funi, si conduca da B la retta BG perpendicolare alla direzione CD del peso R , e questa perpendicolare prolungata passerà pel punto A , ed AB verrà a risultare la corda dell'arco ADB abbracciato dalla fune. Si guidi pure da B la retta Ba perpendicolare alla direzione Pa della fune. Ciò posto, è chiaro che la carrucola mobile, potendo considerarsi come una leva di secondo genere in cui il punto di appoggio è in B , il braccio di leva appartenente alla resistenza R è BG , e quello che favorisce la potenza è Ba ; e siccome per l'equilibrio i momenti di rotazione devono essere eguali sarà

$$R \times BG = P \times Ba$$

ossia

$$P : R :: BG : Ba :: AG : Ba.$$

Ora condotto il raggio AC , esso riuscirà perpendicolare alla tangente PA e quindi parallelo a Ba ; perciò il triangolo BaA sarà simile al triangolo AGC , e si otterrà

$$AG : Ba :: AC : AB$$

dunque

$$P : R :: AC : AB$$

cioè, nella carrucola mobile la potenza sta alla resistenza, come il raggio della carrucola sta alla corda dell'arco abbracciato dalla fune.

Il caso più favorevole alla potenza ha luogo quando le funi PA e QB sono parallele, poichè in questo caso il braccio di leva della potenza P è il diametro AB , doppio del raggio BC , braccio di leva della resistenza R ; e quindi la potenza P sta alla resistenza $R :: 1 : 2$, cioè a dire $R = 2P$; cosicchè in questo caso una data forza P fa equilibrio con una forza doppia R . Quando l'arco abbracciato dalla fune è di 60° la sua corda eguaglia il raggio; cosicchè in questo caso la carrucola mobile non porta alcun vantaggio, perchè la potenza P è eguale alla resistenza R . Quando la corda è minore del raggio, la carrucola mobile pregiudica l'azione istantanea della potenza: a misura che la corda AB va crescendo, si

accresce pure il vantaggio della potenza finchè la corda AB diviene il diametro, nel qual caso, come si è detto, si ha il massimo vantaggio. In tutti i casi la pressione che soffre il punto fisso Q , o ciò che è la stessa cosa, la tensione della fune QB è eguale alla forza P .

Più carrucole combinate insieme formano un *sistema di carrucole*. Attacchiamo p. es. all'estremità H della cassa di una prima carrucola mobile (*Tav. II, Fig. 35*) $ADBM$ una fune $HA'D'B'Q'$, che passi in seguito nella scanalatura di una seconda carrucola mobile $A'D'B'M'$, e che vada ad annodarsi al punto fisso Q' ; attacchiamo parimente alla estremità di questa seconda carrucola una fune $H'A''D''B''Q''$ che passi per una terza carrucola $A''D''B''M''$ per andare ad annodarsi al punto fisso Q'' . Finalmente sospendiamo alla cassa $C''H''$ un peso R , e consideriamo questo peso come la resistenza, che è tenuta in equilibrio da una potenza P applicata alla prima carrucola secondo la direzione PA . Ciò posto, sussistendo l'equilibrio tra queste carrucole, se si chiamino T, T' le tensioni delle funi $HA', H'A''$ si avranno le proporzioni

$$\begin{aligned} P : T &:: CA : AB \\ T : T' &:: C'A' : A'B' \\ T' : R &:: C''A'' : A''B'' \end{aligned}$$

le quali moltiplicate per ordine danno

$P : R :: CA \times C'A' \times C''A'' : AB \times A'B' \times A''B''$
dal che si conclude che nei sistemi di carrucole, la potenza sta alla resistenza, come il prodotto dei raggi delle carrucole, sta al prodotto delle corde.

Le pressioni dei punti fissi Q, Q', Q'' , ossia le tensioni delle funi $QB, Q'B', Q''B''$ sono espresse da P pel punto Q , da $P \times \frac{AB}{AC}$ pel punto Q' , e finalmente da $P \times \frac{AB}{AC} \times \frac{A'B'}{A'C'}$ pel punto Q'' .

Questi risultati possono estendersi ad un numero qualunque di carrucole mobili disposte nello stesso modo. Ne segue come caso particolare, che se tutte le funi che terminano a queste carrucole sono parallele, come nella *Figura 36.*, la potenza starà alla resistenza come il prodotto dei raggi al prodotto dei diametri, cioè a dire, denotando con n il numero delle

carrucole mobili, e con l'unità il raggio, come l'unità sta a 2^a. Quindi ne succede che i sistemi di carrucole a funi parallele sono i più vantaggiosi, perchè è in essi che per l'equilibrio la potenza viene a maggiormente diminuire.

I sistemi di carrucole più comunemente adoperati sono le così dette *taglie* o *polispasti*, nelle quali le varie carrucole che le compongono in parte fisse ed in parte mobili sono raccolte nella stessa incassatura in cui si muovono o sopra lo stesso asse o sopra assi particolari (*Tav. II, Fig. 36 e 37*). La taglia rappresentata dalla *Figura 36.* è formata di due carrucole fisse raccolte in una cassa *OV*, e di un egual numero di carrucole mobili raccolte in un'altra cassa *AK*; la medesima fune abbraccia tutte queste carrucole passando alternativamente da una carrucola fissa ad una carrucola mobile, e tutte le parti *EB, FC, E' B', C' F'* di questa fune, che vanno da una carrucola all'altra, sono parallele. Questa fune è attaccata colla sua estremità *F'* alla cassa delle carrucole fisse: un peso dato *P* è sospeso all'altra sua estremità, ed un peso *R* è parimente attaccato alla cassa delle carrucole mobili; inoltre si deve in questo peso *R* comprendere il peso delle carrucole mobili, della loro cassa e delle funi che le legano alle carrucole fisse: il peso *P* è riguardato come la potenza; il peso *R* come la resistenza. Quale sarà il rapporto di queste due forze nel caso dell'equilibrio?

Poichè le funi *EB, FC* ec., formano le parti di una stessa fune, debbono tutte provare la medesima tensione nel senso della loro lunghezza, giacchè è impossibile che una fune sia disegualmente tesa nelle varie sue parti. Se pertanto si risolve la forza *R* in altrettante forze parallele ed eguali, quante sono le funi impiegate a sostenere questo peso, cioè a dire, nel proposto esempio, in quattro forze dirette secondo le funi *EB, FC, E' B', F' C'*, queste componenti eguali esprimeranno le tensioni di queste funi. Laonde ciascuna di queste quattro funi è tirata nel senso della gravità da una forza eguale ad $\frac{1}{4} R$; cosicchè la fune *EB* è nello stesso caso che fosse pendente dalla sua estremità inferiore un peso eguale ad $\frac{1}{4} R$. Ora la stessa fune è tirata in senso contrario dalla forza *P*; dunque per l'equilibrio si avrà $P = \frac{1}{4} R$, ossia $R = 4P$. Conseguen-

temente nella taglia in discorso la potenza P fa equilibrio con una resistenza eguale a $4P$.

In generale si può dire, che nelle taglie a tratti di fune paralleli, la potenza sta alla resistenza, come l'unità sta al numero delle porzioni di fune comprese fra le carrucole fisse e le carrucole mobili

Del tornio. Il tornio è in generale una ruota attraversata perpendicolarmente da un cilindro, le cui estremità posano sopra due appoggi (Tav. II, Fig. 40,). Una potenza P applicata in direzione tangenziale alla circonferenza della ruota, obbliga la ruota ed il cilindro a girare intorno al loro asse sopra gli appoggi, ed in virtù di questo movimento si avvolgono successivamente al cilindro le diverse parti della fune alla quale è attaccato il peso che vuolsi inalzare o tirare verso la macchina. Talvolta invece di una ruota si piantano nel corpo del cilindro perpendicolarmente al suo asse dei bastoni ai quali si applica la potenza, e talora le estremità del cilindro sono terminate da due manovelle alle quali si applica la potenza. In questi casi il tornio prende il nome di *Verricello* o *Burbola* (Tav. II, Fig. 35). Il verricello si adopra per cavare con facilità l'acqua dai pozzi. Se il verricello è verticale prende il nome di *argano*, il quale serve a trascinare dei massi assai pesanti (Tav. II, Fig. 39). I grandi massi tirati coll'ajuto dell'argano si sogliono fare scorrere sopra dei cilindri di legno o di ferro che diminuiscono molto la resistenza d'attrito. L'enorme masso di granito, che sostiene la statua di Pietro il Grande a Pietroburgo, fu trascinato per mezzo dell'argano e fatto scorrere su delle sfere di ferro che si movevano in apposite scanalature. Si fa un uso frequente dell'argano nella costruzione degli edifizj, e specialmente nella marina.

Qualunque sia la disposizione del tornio, egli è facile intendere che l'azione di questa macchina si riduce a quella di una leva, in cui il braccio della potenza è Ca , raggio della ruota (Tav. II, Fig. 40) e quello della resistenza Cb , raggio del cilindro, ond'è chiaro che, prescindendo dall'attrito e dalla rigidità della fune, dovrà per l'equilibrio aversi la potenza alla resistenza come il raggio del cilindro a quello della ruota.

Varie macchine si possono in tutto o in parte riferire al tornio; tali sono il *martinetto*, le *ruote dentate* ec.

Il *martinetto* semplice è composto di una sbarra AB (Tav. II, Fig. 41) guarnita in una delle sue facce di denti di ferro, e mobile in una cassa CE . I denti della sbarra AB ingranano con quelli di un rocchetto, o cilindro scannellato D , che si fa girare sopra il suo asse col mezzo della manovella NM . I denti del rocchetto sollevano la sbarra, e fanno quindi salire un peso posto in A . Considerando lo sforzo che ciascun dente del rocchetto fa in D per sollevare la sbarra, come un peso da alzarsi, egli è chiaro, dopo ciò che abbiamo detto intorno al tornio, che la potenza applicata alla manovella, sta a questo peso, come il raggio del rocchetto sta al braccio MN della manovella. Quindi è che facendo il raggio del rocchetto assai piccolo rispetto a quello della manovella, si può con una forza mediocre inalzare un peso molto considerevole.

Qualche volta per sollevare un peso più grande colla stessa forza applicata alla manovella, si adoprano nel *martinetto* più rocchetti. Allora l'effetto del *martinetto* è lo stesso di quello delle ruote dentate, di cui andiamo a parlare.

Le *ruote dentate* sono cilindri mobili intorno al loro asse, e muniti di denti alla loro superficie, i quali o sono nel piano stesso della ruota o perpendicolari a questo piano o inclinati secondo l'oggetto che viene proposto. Esse servono a molti usi. Talora si adoprano per moltiplicare la forza, talora per moltiplicare la velocità, o per regolare dei movimenti, come negli orologi.

Più ruote dentate V, X, Y , comunichino le une colle altre per mezzo dei rocchetti u, x, y (Tav. II, Fig. 42), ed alla prima ruota sia applicata la potenza P , ed all'ultimo rocchetto sia attaccato il peso: si tratta di trovare il rapporto della potenza al peso, o allo sforzo che l'ultimo rocchetto può sostenere. Sieno R, R', R'' i raggi di queste ruote ed r, r', r'' quelli dei loro rocchetti. Si considererà lo sforzo che la scannellatura di un rocchetto fa contro il dente della ruota vicina, come una potenza applicata a questa ruota. Allora chiamando S, S' questi sforzi, per ciò che si è detto trattando del tornio, si avranno le seguenti proporzioni:

$$P : S :: r : R,$$

$$S : S' :: r' : R'$$

$$S' : Q :: r'' : R''$$

dalle quali si deduce che

$$P : Q :: r \times r' \times r'' : R \times R' \times R''$$

cioè a dire la *potenza sta al peso, come il prodotto dei raggi di tutti i rocchetti sta al prodotto dei raggi di tutte le ruote*. Così, per esempio, se il raggio di ciascun rocchetto è $\frac{1}{10}$ del raggio della ruota, una potenza di una libbra sosterrà uno sforzo di mille libbre.

Del rimanente quanto si guadagna in forza coll'adoprarle le ruote dentate si perde in velocità. Infatti quando la ruota *V* ha fatto un giro, il rocchetto *u* ha fatto parimente un giro, ma esso ha fatto passare solo tanti denti della ruota *X* quante sono le sue scannellature; per modo che se la ruota *X* ha, per esempio, 48 denti ed il rocchetto ha sei scannellature, la ruota *X* avrà fatto soltanto $\frac{1}{8}$ di giro, mentre la ruota *V* ne ha fatto un intero. Per la stessa ragione si scorge che la ruota *Y* va più lentamente di *X*, e così di seguito. *In generale si trova il numero dei giri che fa la prima ruota dentata mentre l'ultima fa un giro, dividendo il prodotto del numero dei denti di tutte le ruote per quello del numero delle scannellature di tutti i rocchetti.*

I denti nelle ruote dentate, alle volte non sono posti sulla fronte della periferia, ma vengono invece collocati parallelamente all'asse, come nella figura a suo luogo. In tal caso diconsi *ruote a corona*. Se una ruota a corona *EF* (Tab. II, Fig. 43) ingrana con un rocchetto *m n*, il quale in luogo di scannellature porta tante piccole verghettine equidistanti *p, q*, il rocchetto prende il nome di *lanterna*.

Vediamo ora come si possa per mezzo delle ruote dentate accrescere la velocità. Sia una ruota dentata *V* (Tab. II, Fig. 44) che ingrani in un rocchetto *u*. Egli è manifesto che in un giro della ruota *V*, il rocchetto *u* farà un numero di giri espresso da $\frac{N}{n}$ indicando con *N* ed *n* i numeri di denti della ruota e del rocchetto. Parimente se il fusto del rocchetto *u* porti una ruota *X*, che ingrani essa pure in un rocchetto *x*, in un giro

della ruota X o del rocchetto u , il rocchetto x farà un numero di giri espresso da $\frac{N'}{n'}$, denotando con N' ed n' i numeri di denti della ruota X e del rocchetto x . Perciò mentre la ruota V farà un giro, la ruota y farà un numero di giri espresso da $\frac{NN'}{nn'}$. Dunque *il numero dei giri che fa l'ultima ruota, mentre la prima fa un giro, si ha dividendo il prodotto dei denti delle ruote, pel prodotto dei denti de' rocchetti.*

Del piano inclinato. Chiamasi in generale piano inclinato, qualunque piano che fa coll'orizzonte un angolo non retto. Un corpo che tocca un piano MN (Tav. II, Fig. 45), in un punto qualunque A , ed è sollecitato da una sola forza Q rimarrà in equilibrio, se la direzione QA della forza sarà perpendicolare al piano MN , e se questa direzione passerà pel punto A , dove il corpo tocca il piano. Infatti, 1.° essendo la direzione QA perpendicolare al piano, non v'è ragione per cui il corpo debba muoversi piuttosto da una parte che da un'altra qualunque; 2.° se la direzione QA , benchè perpendicolare al piano non passasse pel punto di contatto A , la resistenza del piano che si fa normalmente al punto A , non sarebbe direttamente opposta alla forza QA , e quindi non potrebbe distruggerla, benchè le fosse eguale. In secondo luogo, se il corpo tocca il piano in più punti, dovrà la forza QA essere perpendicolare al piano, ed inoltre farà d'uopo ch'essa possa risolversi in tante forze normali al piano, quanti sono i punti O, K cc. del corpo che si appoggiano sul piano. Se il corpo che si appoggia sul piano inclinato sarà sollecitato da varie forze, farà d'uopo per l'equilibrio, che la loro risultante passi pel punto d'appoggio e sia perpendicolare al piano.

Il piano inclinato serve nella meccanica a sostenere una parte della gravità dei corpi. Egli è per questa ragione che noi non possiamo trattenerci a parlare delle condizioni d'equilibrio dei corpi sul piano inclinato, senza aver prima trattato della gravità; quindi verremo a parlarne quando tratteremo di questa forza.

Della vite. La vite è un cilindro retto, avviluppato da un filo uniforme ed in rilievo, che gli è aderente e che fa lo

stesso angolo con tutte le rette condotte sopra la superficie del cilindro parallelamente al suo asse. La curva segnata dal filo sopra la superficie del cilindro dicesi *elica*, ed il filo che lo avvolge dicesi *pane*. Il cilindro stesso poi riceve il nome di *mastio*. La *madrevite* è un solido scavato cilindricamente e solcato internamente nello stesso modo che il cilindro della vite è rilevato esternamente. Queste solcature sono destinate a ricevere i rilievi della vite. L'intervallo uniforme che conserva il pane nell'avvolgersi attorno al cilindro, chiamasi *passo della vite*. La vite può usarsi in tre modi differenti: 1.^o Tenendo fissa la madrevite, e facendo girare il mastio con una potenza applicata ad una manovella piantata nel mastio stesso (*Tav. II, Fig. 46*); 2.^o tenendo fisso il mastio e facendo girare la madrevite *DC*; 3.^o tenendo fisso il mastio, in modo però che possa girare intorno al suo asse e fare scorrere così la madrevite con un moto parallelo al suo piano.

La vite è una macchina nella quale le condizioni di equilibrio dipendono dai principj del piano inclinato, poichè di fatto le spire che ne costituiscono l'*elica* sono altrettanti piani inclinati. Perciò determineremo queste condizioni d'equilibrio dopo aver determinato quelle dei corpi sul piano inclinato.

Del Cuneo. Il Cuneo è un prisma triangolare *ABCDEF* (*Tav. II, Fig. 47*), che s'introduce in una fessitura per distaccare o separare le due parti di un corpo. Talvolta si fa uso del cuneo per sollevare dei pesi o per comprimere dei corpi. Chiamasi *testa* del cuneo la faccia *ABCD*, che riceve il colpo o l'impressione della forza motrice. La retta *EF*, che unisce i vertici dei due triangoli *ADE*, *BCF* chiamasi *taglio* o *filo* del cuneo, e le facce parallelogrammiche *ABFE*, *DCFE*, colle quali preme i corpi contigui ne sono i *lati*.

Rappresenteremo il cuneo col suo profilo *DAE*, la sua testa colla retta *DA*, ed i lati colle rette *DE*, *AE*; e se il profilo *DAE* sarà isoscele, il cuneo si dirà pure isoscele. Nel cuneo la percossa che si esercita sopra la sua testa ne costituisce la potenza, e la forza che essa deve superare non è altro che la resistenza che le parti del corpo oppon-

gono alla loro separazione. Ma siccome questa resistenza non è mai ben conosciuta, così noi ci restringeremo a determinare gli sforzi che esercita la potenza contro i due lati del cuneo in direzione perpendicolare a questi lati. Supporremo la potenza perpendicolare alla testa del cuneo, perciocchè se fosse obliqua, si risolverebbe in due forze, l'una parallela alla testa del cuneo, e che non avrebbe alcun effetto per affondare il cuneo; l'altra perpendicolare, e la sola da doversi considerare. Sia DE (*Tav. II, Fig. 48*) la direzione della potenza perpendicolare alla testa del cuneo, e per questa direzione conducasi al suo taglio un piano perpendicolare, che lo sarà altresì ai suoi lati. Sia il triangolo ABC la sezione fatta dal piano nel prisma triangolare che forma il cuneo; dal punto E , dove la direzione della potenza incontra la testa del cuneo si abbassino due perpendicolari EF ed EG sui lati AC e BC , e risolvasi la potenza in due forze dirette secondo EF ed EG : queste due componenti rappresenteranno gli sforzi che la potenza esercita contro i lati del cuneo, e de' quali trattasi di ritrovare le relazioni che essi hanno colla potenza medesima. Sia pertanto P la data potenza, e chiamiamo X ed Y le sue componenti secondo EF ed EG ; prolunghiamo la direzione DE della forza P , d'una quantità arbitraria Ee , e dal punto e conduciamo le rette ef ed eg parallele ad EG ed EF . Ciò posto, la potenza P , e le componenti X ed Y staranno tra loro come la diagonale Ee , e i due lati Ef ed Eg del parallelogrammo $Efeg$; cioè avremo

$$P : X : Y :: Ee : Ef : Eg$$

ma siccome $Eg = fe$, si avrà

$$P : X : Y :: Ee : Ef : fe,$$

e quindi per la similitudine dei due triangoli Efe , BAC

$$Ee : Ef : fe :: AB : AC : BC;$$

quindi

$$P : X : Y :: AB : AC : BC$$

cioè a dire le tre forze P , X , Y stanno fra loro come i tre lati del triangolo ABC . Le rette AB , AC , BC , stanno fra loro come le facce del cuneo costituite dalla sua testa e dai suoi lati; perciocchè queste facce sono parallelogrammi della stessa base, che hanno per altezza AB , AC , BC . Dunque la

potenza P e le sue componenti stanno fra loro, come la testa e i due lati del cuneo, cosicchè rappresentando la potenza colla testa del cuneo, gli sforzi che essa esercita contro i suoi lati saranno rappresentati da questi lati medesimi. Dalla serie dei rapporti

$$P : X : Y :: AB : AC : BC$$

si deduce

$$P : X + Y :: AB : AC + BC$$

cioè a dire che *la potenza sta alla somma degli sforzi che essa esercita sui lati, come la testa del cuneo sta alla somma dei suoi lati.*

Quando il cuneo è isoscele, essendo $AC = BC$ e $X = Y$ si ha

$$P : X + Y :: AB : 2AC$$

ovvero

$$P : X + Y :: \frac{AB}{2} : AC$$

vale a dire che *la potenza sta alla somma degli sforzi che esercita sui lati, come la metà della testa del cuneo sta ad uno dei lati.*

Di qui si deduce che quanto più saranno lunghi i lati del cuneo, rispetto alla sua testa, tanto maggiore sarà lo sforzo che si eserciterà con una forza costante. Quindi è che adoperando dei cunei molto acuti si possono esercitare degli sforzi notabili, anche col perecuotere la testa del cuneo con un colpo mediocre. I coltelli, i puntaruoli, gli spilli, le asce, le spade, i chiodi ec. ec. sono cunei tanto più facili a penetrare nei corpi di cui si vogliono separare le parti, quanto più sono acuti.

Considerazioni sopra le macchine in generale. — In tutte le macchine vi è un punto o un asse fisso intorno al quale succede il moto, allorchè si rompe l'equilibrio. Ora se suppongasi che questo movimento si faccia in un istante brevissimo, i punti d'applicazione della potenza e della resistenza, nel girare intorno al detto punto o asse, descriveranno in quello istante degli archi piccolissimi di cerchio. Ora questi archi, essendo proporzionali ai loro raggi, esprimeranno le velocità dei due punti predetti, che chiamansi velo-

cià virtuali, e conseguentemente si potrà concludere che in una macchina v'è equilibrio, quando la potenza moltiplicata per la velocità che può prendere in un istante piccolissimo, è eguale alla resistenza moltiplicata per la velocità che prenderebbe, se l'equilibrio fosse rotto, in quell'istante medesimo. Laonde chiamando P la potenza, R la resistenza, e V , V' le velocità che esse possono prendere nell'indicato istante, si avrà per l'equilibrio $PV = RV$. Ora si potrà ottenere questa equazione in due modi diversi. Se la forza P , che è a nostra disposizione, sarà limitata ed insufficiente, converrà darle una maggiore velocità, cioè a dire trasportarla ad una distanza maggiore dall'asse, finchè si verifichi l'equazione dell'equilibrio. Al contrario se la velocità V sarà troppo piccola e non possa bastare, si otterrà l'equilibrio coll'aumentare sufficientemente la potenza P . Quindi secondo le circostanze si sacrificherà o una parte della forza, o una parte del tempo, che sono le sole cose delle quali si può disporre. Così per es. allorchè un palo trova troppa resistenza ad entrare nel terreno, si può sforzarlo a penetrarvi maggiormente, o col sollevare più in alto la massa urtante, o coll'accrescere il peso di questa massa medesima. Parimente; se sia data la grandezza della potenza, come pure la sua velocità virtuale, cioè quella che può prendere nella unità di tempo, ovvero la sua distanza dall'asse, il prodotto PV sarà la misura di tutto l'effetto che si potrà ottenere. Ma la grandezza della resistenza e la velocità che essa può prendere, essendo ancora indeterminate, si potrà ad arbitrio far l'una delle due più grande, purchè si renda l'altra proporzionalmente più piccola, per modo che risultino sempre eguali i momenti tra la resistenza e la potenza. Laonde si potrà colla stessa forza inalzare nello stesso intervallo di tempo, o un peso di 100 libbre con una velocità di 10 piedi per secondo, o un peso di 1000 libbre colla velocità di un piede per secondo.

Si chiama *quantità di lavoro* di una macchina, il prodotto ottenuto, moltiplicando una forza, valutata in chilogrammi, pel cammino percorso dal suo punto di applicazione, valutato in metri. Si potrà dunque enunciare la proposizione di cui abbiamo trattato, nel modo seguente: allorquando una poten-

za ed una resistenza si fanno equilibrio in una macchina, la quantità di lavoro della potenza durante un dato tempo, è eguale alla quantità di lavoro della resistenza, nello stesso spazio di tempo.

Da quanto abbiamo esposto apparisce con evidenza, che non v'ha alcuna macchina, nè alcuna combinazione di macchine che possano rendere una data forza capace di comunicare una più grande velocità ad una eguale resistenza, o la stessa velocità ad una resistenza più grande. Se si pretendesse il contrario, sarebbe lo stesso che pretendere che una macchina avesse in sè stessa una forza occulta da aggiungere alla data potenza, il che è assurdo.

Le macchine adunque non creano nè forza nè movimento, sono agenti intermediarj fra il motore e la resistenza, e se si arriva col mezzo delle macchine a superare con una debol forza una potente resistenza, o a produrre una grande velocità con un piccol movimento, ciò dipende, nel primo caso dal maggiore impiego di tempo, e nel secondo, dal maggior dispendio di forza. In generale, *in tutte le macchine si perde in velocità di azione, ciò che si guadagna in intensità di azione; si perde in tempo ciò che si utilizza in forza.*



DEI GRANDI AGENTI DI NATURA

4.º DELL'ATTRAZIONE.

Fra le grandi forze che animano i corpi in natura, ve ne sono alcune che agiscono continuamente su di essi e alle quali è impossibile sottrarli. Queste ultime sono due, cioè *l'attrazione e la forza elastica del calore*.

L'attrazione è la tendenza che ha la materia ad unirsi alla materia. Essa esercitasi in ogni circostanza, tanto che sembra questa forza una proprietà alla materia inerente.

Quando l'attrazione agisce a notevoli distanze fra i corpi costituisce ciò che più particolarmente si dice *gravitazione*, mentre quando esercitasi fra le più piccole particelle dei medesimi, e ad impercettibili distanze, dicesi *attrazione molecolare*. In questo ultimo caso essa manifestasi con leggi assai diverse che nel primo, e prende i caratteri di una forza affatto differente.

Della gravitazione o attrazione a distanza.

Prima che l'esperienza avesse dimostrato l'attrazione scambievole che esiste fra i corpi situati fra di loro a distanza, il genio di Newton l'avea preveduta. Ei la dedusse dalle leggi dei movimenti dei corpi celesti, determinate da Keplero, dimostrando col ragionamento che la forza che costringe i pia-

neti a mantenersi sull'orbita che descrivono intorno al sole, e che li fa continuamente deviare dal cammino rettilineo che seguirebbero in virtù dell'impulso primitivo, altro non è che l'attrazione scambievole che esiste fra essi e questo astro centrale; e che la medesima attrazione non solo si esercita fra i corpi celesti, ma anche fra i terrestri, come tra questi e la terra medesima, su cui son posti; talchè la causa che produce il movimento della terra intorno al sole, o della luna intorno alla terra, è quella stessa che produce la caduta di un sasso lanciato in aria.

Newton fece dipendere tutti questi risultati da un'unica legge, detta *dell'attrazione universale*, che fu da lui enunciata in questi termini: *tutte le parti della materia sparse nell'universo s'attirano reciprocamente in ragione diretta delle loro masse, e in ragione inversa dei quadrati delle distanze.*

Cavendish volle coll'esperienza rendere evidente quest'attrazione dei corpi fra loro, che la potente logica di Newton avea rivelato; e a quest'uopo immaginò un ingegnoso apparecchio, fondato sul principio seguente.

Se si avesse una grande sfera metallica di 2 a 3 metri di raggio, è chiaro che essa non sarebbe capace di far risentire la sua forza di attrazione ad una piccola sfera sospesa ad un filo, ossia ad un filo a piombo, poichè la forza di attrazione della terra è infinitamente superiore a quella della grossa sfera metallica da noi immaginata. Ma se invece di un filo a piombo si presentasse alla sfera metallica, allo stesso livello del suo centro, un'asta orizzontale perfettamente mobile ed equilibrata, è chiaro che l'azione della gravità non impedirà a quest'asta di muoversi a dritta o a sinistra e di oscillare intorno all'asse del filo; anzi non influirà minimamente su questi movimenti. Perciò la grossa sfera metallica spiegherà la sua azione attrattiva sopra una delle sue estremità, l'asta si spingerà con questa estremità verso di essa, ed oscillerà più o meno lungamente a dritta e a sinistra della medesima. Se invece di un sol globo metallico se ne mettessero due, che agissero ciascuno sopra una delle estremità della leva, si vede che l'effetto sarebbe raddoppiato; così con questo mezzo, prendendo dei globi abbastanza grandi e delle aste sufficiente-

mente mobili, si potrà indubitabilmente render sensibile l'azione della materia sulla materia, se questa realmente esiste.

L'apparecchio di Cavendish è rappresentato dalla *Figura 49 Tav. II*. U e V sono le due sfere metalliche; esse erano di piombo, e pesavano ciascuna 158 chilogrammi. $ABCD$ rappresenta la sezione di una cassa nella quale stava rinchiusa l'asta mobile per garantirla da tutte le agitazioni dell'aria; s ed s' sono due piccole palle di rame sospese alle due estremità dell'asta mobile, e perfettamente in equilibrio. Queste palle stanno sospese per mezzo di un filo d'argento che traversa le estremità dell'asta; questo filo viene ad attaccarsi in n al filo verticale ff , la tenacità del quale è abbastanza grande per sopportare l'asta e le palle s e s' , e di cui la torsione è la sola forza che si oppone alle oscillazioni: le due masse U V stanno sospese in fondo a delle aste di ferro, e possono girare intorno alla cassa per mezzo di una manovra che si eseguisce al di fuori: infine tutto l'apparecchio è chiuso in una stanza senza finestre e senza porte, e non è rischiarato che da una piccola apertura, per mezzo di una lampada g situata fuori dei muri onde non riscaldare l'aria interna, ed è con un canocchiale L L' che si osservano i movimenti che si producono.

Tutto il sistema essendo in riposo, e le masse U e V essendo nella situazione in cui non agiscono, cioè a dire nella situazione perpendicolare all'asta mobile, si fanno girare per situarle in una posizione obliqua all'asta; allora questa si mette a girare; le piccole palle s ed s' sono attratte ciascuna verso la palla corrispondente, e le oscillazioni cominciano. Questa è una prova evidentissima che la materia attrae la materia. Noi vediamo soltanto l'effetto dell'attrazione delle grandi masse sulle piccole, a motivo del movimento che queste prendono verso le prime, ma non possiamo vedere quello dell'attrazione delle piccole masse per le grandi, perchè in questo caso la forza che si spiega non è capace di produrre alcun movimento.

Reso così manifesto il fatto dell'attrazione universale, Cavendish applicò il suo ingegnoso apparecchio anche a determinarne le leggi. Fece variare le dimensioni e le masse delle

sfere, le distanze fra le palle e le sfere, impiegò sfere e palle di diversa natura, e concluse da una lunga serie di esperienze *che l'attrazione fra la materia delle palle e quella delle sfere variava in ragion diretta delle masse e in ragione inversa dei quadrati delle distanze*. Questa legge significa: 1.° che la forza totale con cui un corpo agisce sopra una molecola di un altro per attrarla è la somma delle attrazioni di ognuna delle sue molecole, per cui quanto più grande è il numero delle medesime, tanto più grande è la intensità della forza; 2.° che se pongonsi due corpi alle distanze espresse coi numeri 1, 2, 3 ec. le intensità della forza di attrazione diminuiranno con queste distanze, e saranno espresse coi numeri $1, \frac{1}{4}, \frac{1}{9}$ ec. Per

le distanze fra i corpi sferici si prendono quelle fra i loro centri, giacchè in meccanica si dimostra che le molecole materiali, uniformemente distribuite nel volume di una sfera agiscono nella loro totalità sopra un punto esterno, come se tutte fossero riunite al suo centro.

Della gravità. Ci sarà ora facile concepire che in virtù dell'attrazione universale, dovrà esistere una reciproca attrazione fra la terra e i corpi situati alla sua superficie, ma che in conseguenza della graudezza della massa terrestre, incalcolabilmente maggiore di quella dei corpi situati su di essa, non ci sarà possibile scorgere se non che l'effetto dell'attrazione della terra per essi. Allorquando abbandoniamo a sè stesso un corpo, esso cade fintantochè non tocca la terra o alcun altro corpo che lo sostenga: adunque si avvicina alla terra, non già la terra ad esso.

La forza che produce la caduta dei corpi verso la terra è stata distinta col nome particolare di *gravità*, quantunque sia manifesto per ciò che abbiamo detto che altro non è se non un caso particolare della gravitazione o attrazione universale.

Poichè l'azione di questa forza varia in ragione inversa del quadrato delle distanze, potrebbe credersi che l'azione della gravità sopra un corpo variasse al variare delle altezze da cui cadesse; ma avendo riguardo alle piccole altezze da cui noi consideriamo caduti i corpi sulla superficie della terra, specialmente rapporto alla grandezza infinitamente maggiore

del raggio terrestre, può la gravità considerarsi come una forza d'intensità costante per le diverse altezze. Potrebbe anche supporre che per la reciproca attrazione dei corpi situati alla superficie della terra si manifestassero dei movimenti degli uni verso gli altri; p. es. quando si lasciasse cadere una pietra da una grande altezza, in vicinanza di una montagna, essa si dovesse dirigere verso il centro prossimo di quella, piuttosto che verso quello della terra che è lontanissimo. Se però si riflette che la più grande montagna, non è che un grano di sabbia quando si paragona alla terra, non ci farà più meraviglia che le montagne non possano attirare i corpi che sono attirati dalla terra. L'effetto che esse potranno produrre sarà tutto al più di deviarli un poco dalla direzione della loro caduta, che è la verticale. Difatti ciò accade presso le montagne le più considerevoli del globo. Bouguer fu il primo che osservò la deviazione del filo a piombo presso il Chimborazo; e Maskeline e Carlini confermarono in seguito questo fatto, il primo sperimentando al piede di alcune montagne della Scozia, il secondo sul monte Cenisio.

Vi sono dei corpi che sembrano sottrarsi all'effetto di questa forza. Tali sono p. es. la fiamma, il fumo, la nebbia, le piume, i globi areostatici che noi vediamo sollevarsi nell'aria invece di cadere alla superficie della terra. Questi corpi nondimeno obbediscono anch'essi alla legge di gravità, e se ai nostri occhi apparisce che vi si sottraggano, ciò dipende perchè l'aria in mezzo alla quale si muovono è di essi più pesante, e li spinge in alto, precisamente come accade ad un sughero nell'acqua. Situati in spazj vuoti, cadrebbero anche essi verso la superficie della terra.

Oltremodo ristretta sarebbe l'idea che ci faremmo della gravità se tenendoci strettamente alla definizione che ne abbiamo data, non le supponessimo altro effetto che quello della caduta dei corpi. Essa ne produce ancora molti altri che sono di quello la necessaria conseguenza; tali sono p. es. il distendersi dei mari in superficie piana, il movimento dei liquidi che scolano dai recipienti, lo scorrere dei fiumi verso il mare, il sollevarsi dei corpi leggeri verso la superficie dell'acqua, e quelli stessi movimenti ascensionali in mezzo all'aria, che

abbiamo detto sembrare in contradizione colla forza che li produce.

Direzione della gravità. Per determinare la linea lungo la quale cadono i corpi, basta seguirne la traccia nella loro caduta. Questa traccia vien segnata da un filo legato ad un'estremità ad un corpo pesante, e sospeso per l'altra estremità ad un punto fisso. La direzione del filo quando sarà teso ed in riposo, sarà la direzione della gravità, poichè se questa forza agisse secondo un'altra linea essa tirerebbe il filo e lo trascinerrebbe secondo quest'altra linea. Questo piccolo strumento chiamasi *filo a piombo*, e la sua linea di riposo chiamasi la *verticale*.

È però necessario un piano fisso a cui riferire questa verticale onde esser certi della invariabilità di questa linea del filo a piombo, senza di che niente ci assicurerebbe che questa linea non avesse da un momento all'altro cambiato. Noi potremmo riferire questa verticale alle linee di qualche edificio, di qualche montagna ec. ec., ma chi ci assicurerebbe della loro stabilità mentre tutto è così instabile intorno di noi? Dunque noi non abbiamo un punto fisso nè sulla terra ferma, nè sulle montagne per giudicare se la direzione della gravità è costante, o se varia collo scorrere dei secoli. Fortunatamente la superficie del mare, benchè continuamente agitata, ci presenta nella sua direzione generale il piano invariabile che ricerchiamo. Di fatto anche il più piccolo cambiamento di livello nel mare cagionerebbe delle immense inondazioni, e forse anche una generale sommersione. Ora accade, per una ragione che esamineremo nella idrostatica, che la superficie delle acque tranquille è perpendicolare alla direzione della gravità. Se adunque la direzione della gravità cangiasse, cangerebbe anche il livello del mare. Da ciò si può giudicare la costanza della sua direzione.

Invece di dire che la gravità è perpendicolare alla superficie del mare, si dice talora che è perpendicolare alla superficie della terra. Allora s'intende una superficie ideale fatta col prolungamento di quella del mare.

Le superfici delle acque di un lago, di un pozzo, e di qualunque vaso di grandi dimensioni, sono pure tanti piani

perpendicolari al filo a piombo. Resulta da queste verità fondamentali che tutte le direzioni della gravità concorrono verso il centro della terra, giacchè tutte le perpendicolari ad una superficie sferica concorrono al suo centro. Egli è dunque inesatto il dire che queste direzioni sono parallele; ma avuto riguardo alla grande lunghezza del raggio terrestre, rispetto alle distanze che noi consideriamo, possono senza errore riguardarsi tali. A cento tese di distanza due fili a piombo farebbero fra loro un angolo di poco più di sei secondi. Per uno stesso corpo adunque, per quanto sia esteso, le direzioni della gravità, che opera sui varj suoi punti, possono considerarsi come parallele.

Noi abbiamo detto che la verticale rappresentava la direzione della caduta dei corpi; ciò sarebbe rigorosamente vero se la terra fosse in riposo, ma essa è in moto intorno al suo asse, e resulta da questo movimento che se un corpo cadesse da una grande altezza, esso non seguirebbe esattamente la verticale dal suo punto di partenza, perchè il corpo, avendo all'istante della partenza una maggiore velocità di rotazione che il punto della terra dal quale passa la sua verticale, dovrà cadere in un punto più avanzato verso l'oriente, di una quantità eguale alla differenza degli spazj percorsi, durante la sua caduta, dal punto di partenza e dal piede della verticale di questo in virtù della rotazione; ma onde questa distanza fosse sensibile converrebbe che il corpo cadesse da una grande altezza.

Centro di gravità. Il punto di applicazione della risultante di tutte le forze che attirano i punti di un corpo verso il centro della terra, porta il nome di *centro di gravità*. Dal medesimo passa costantemente l'indicata risultante, qualunque sia la posizione del corpo. Tutte le parziali forze di gravità che agiscono sui varj punti del corpo, supposto questo abbastanza piccolo o assai lontano dal centro della terra per poter trascurare le differenze delle distanze delle sue molecole, debbono considerarsi come eguali e parallele. Ora noi sappiamo che un sistema di forze parallele è rappresentato da una risultante, e il punto in cui si suppone applicata questa risultante è stato da noi chiamato *centro delle forze*

parallele. Adunque il centro di gravità dei corpi è il centro delle forze parallele di gravità che agiscono sui varj punti del corpo medesimo. Da ciò risulta una proprietà caratteristica del centro di gravità, cioè a dire l'invariabilità della sua posizione nell'interno dei corpi solidi, qualunque sia la posizione che si dà loro. Per esempio, il punto g (Tav. II, Fig. 50) essendo il centro di gravità del triangolo abc quando il punto c è in alto, sarà sempre il luogo del centro di gravità quando il punto c sarà in basso o in qualunque altra posizione, giacchè al variare della posizione del corpo, non si alterano le forze della gravità che operano sulle sue molecole, laonde le medesime non cessano di essere tra loro parallele e verticali.

Peso. Abbiamo detto che l'azione della gravità su di un corpo può rappresentarsi per un sistema di forze parallele e tutte eguali d'intensità, e che il punto d'applicazione della loro risultante è il centro di gravità. Ora quale sarà questa risultante? È evidente che essa dovrà essere eguale alla somma di tutte queste forze. Se noi chiamiamo F questa forza risultante, è chiaro che detta g la forza della gravità sopra l'unità di massa, ed M la massa totale del corpo, la risultante o forza motrice sarà espressa dal prodotto gM . Adunque *la risultante della gravità è proporzionale alla massa.* Questa risultante, che siamo costretti a distruggere per impedirne l'effetto, e che ci rappresenta la pressione dei corpi gravi contro gli appoggi, lo sforzo contro gli ostacoli che ne impediscono la caduta, chiamasi comunemente *peso*. Il peso è adunque la misura della quantità relativa di materia, di cui si compongono i corpi.

Determinazione del centro di gravità. La determinazione del centro di gravità, semplicità assai lo studio dell'equilibrio dei corpi gravi. Difatti per distruggere l'effetto del peso di un corpo, basterà applicare al suo centro di gravità una forza eguale e contraria, e nella direzione della gravità.

Nei corpi omogenei e di forma regolare il centro di gravità è situato al centro di figura. Così è evidente che nella linea retta pesante, rappresentata da un filo metallico omogeneo e di egual grossezza in tutta la sua estensione, il cen-

tro di gravità è nel suo mezzo. Vi sono certe figure le quali possono esser divise da una retta in due parti esattamente eguali, tanto per riguardo alla loro area che al loro perimetro. Queste figure diconsi *euritmetiche* rapporto a quella retta, la quale dicesi appunto *asse di euritmia* della figura. Se queste figure sono formate di materia pesante, omogenea e di egual grossezza in tutte le parti, è chiaro che avranno il loro centro di gravità sull'asse di euritmia. Questo principio serve a stabilire il centro di gravità di alcune figure e di alcuni solidi della geometria.

Il *triangolo equilatero*, il *rettangolo*, il *poligono regolare* hanno ciascuno un asse di euritmia, il quale nel triangolo equilatero è la linea condotta da un angolo alla metà del lato opposto, nel rettangolo, è la retta che unisce i punti di mezzo di due lati opposti, e finalmente nel poligono regolare d'un numero pari di lati, è una delle diagonali, o la linea guidata pel vertice di due angoli opposti; e in quello di un numero dispari di lati, l'asse di euritmia coincide colla linea tirata dal vertice di un angolo alla metà del lato opposto. Il centro di gravità di queste figure si trova dunque sulle rette indicate. Siccome poi in ciascuna figura si possono condurre almeno due assi di euritmia, così il loro centro di gravità viene ad essere nel punto d'intersezione dei due assi, il qual punto è anche il centro di figura. Per tal modo *il centro di gravità del triangolo equilatero è nel punto d'intersezione delle due rette condotte dai vertici di due angoli alla metà di ciascuno dei lati opposti. Il centro di gravità del rettangolo si trova nel punto dove s'intersecano le due rette congiungenti rispettivamente le metà dei lati opposti, il qual punto coincide coll'intersezione delle due diagonali dello stesso rettangolo. Finalmente il centro di gravità del poligono regolare è situato nel punto, dove vengono a intersecarsi due diagonali, condotte rispettivamente dai vertici di due angoli ai vertici degli angoli opposti, se il poligono ha un numero pari di lati, o alla metà di ciascuno dei due lati opposti se il poligono è formato da un numero dispari di lati.*

Il *cerchio* è una figura euritmica, e qualunque suo diametro è il suo asse di euritmia; per conseguenza il *centro di*

gravità del cerchio risiede nel suo centro di figura, che è il punto in cui s'incontrano i diametri.

Si trova il centro di gravità delle figure che non hanno un asse di euritmia, immaginandole divise nei loro elementi o in tante sottili strisce, o rette pesanti, il cui centro di gravità risiede nel loro punto di mezzo. Un triangolo qualunque ABC , si compone di tante rette pesanti parallele al lato AB (Tav. III, Fig. 55), le quali avranno tutte il loro centro di gravità sulla linea CE , condotta dal vertice C alla metà E del lato opposto AB , la quale linea si sa per la geometria che divide per metà tutte le parallele ad AB . Congiunto il vertice dell'altro angolo B col punto di mezzo D del lato opposto AC , dovrà essere, per la stessa ragione, il centro di gravità degli elementi del triangolo paralleli ad AC , sulla linea BD . Il centro di gravità di tutto il triangolo si trova dunque contemporaneamente sulle linee CE , BD , e quindi nel punto d'intersezione G .

Volendo determinare la posizione di questo centro G , si tiri la retta ED , parallela a BC . Dalla similitudine dei triangoli BAC , EAD e degli altri BCG , DEG , si ha

$$2 : 1 = BA : EA = BC : ED = CG : GE.$$

Dunque CG è doppio di GE ; dunque CG è $\frac{2}{3}$ di CE . Da ciò si deduce, che il centro di gravità del triangolo risiede sulla linea che congiunge il vertice di un angolo colla metà del lato opposto, a due terzi del vertice.

Il parallelogrammo $ACBH$ (Tav. III, Fig. 55) è formato di triangoli perfettamente eguali ABC , ABH , ciascuno dei quali ha il centro di gravità sulla diagonale CH e ad eguale distanza dal punto E , che è il punto d'intersezione coll'altra diagonale. Dunque il centro di gravità del parallelogrammo è situato nel punto d'intersezione delle sue due diagonali.

Un solido è euritmico per rapporto ad un asse, quando ogni sezione fatta perpendicolarmente all'asse, ha il suo centro di euritmia sull'asse medesimo. Se quindi immaginiamo il solido diviso in un gran numero di sezioni normali all'asse e fra loro molto vicine, si possono queste ritenere come semplici superfici pesanti, aventi ciascuna il centro di gravità su quest'asse. Da ciò si deduce in generale che i corpi solidi euritmici, per rapporto ad un asse, hanno il loro centro di gra-

vità sull'asse medesimo, e quando abbiano due assi di euritmia, il centro di gravità cade nell'intersezione degli assi stessi.

Il poliedro regolare ha tanti assi di euritmia quanti sono i suoi diametri; quindi il centro di gravità del poliedro regolare è nel punto dove s'intersecano due dei suoi diametri.

Il prisma retto, che ha per base un poligono regolare, ha due assi di euritmia; uno dei quali è la retta che unisce i centri delle due basi, e l'altro il diametro del poligono risultante dal dividere nel mezzo il solido con un piano perpendicolare all'asse. Nel punto d'intersezione di queste due rette risiede il centro di gravità del prisma, il qual centro è anche quello della sezione di mezzo. Dunque *il centro di gravità del prisma, avente per base un poligono regolare, risiede nel centro di figura della sua sezione di mezzo, ossia nel mezzo della linea che congiunge i centri di gravità delle due basi.*

Il cilindro retto ha due assi d'euritmia principali: l'uno è la retta che unisce i centri dei cerchi delle due basi, l'altro è il diametro della sezione circolare che divide in due parti eguali il cilindro. Dunque *il centro di gravità del cilindro retto è pure nel mezzo della linea che unisce i centri di gravità delle due basi.* La sfera ha tanti assi di euritmia quanti sono i suoi diametri, talchè *il centro di gravità della sfera coincide col suo centro.*

La piramide triangolare si può immaginare divisa in tante superfici triangolari parallele alla base e sovrapposte le une alle altre che vanno sempre diminuendo in grandezza a misura che si accostano al vertice, e tutte fra loro simili. Se quindi dal vertice della piramide si conduce una retta al centro di gravità della base, sulla medesima si troverà il centro di gravità del solido. Prendendo per vertice un altro angolo della piramide, e condotta sulla base opposta una retta consimile, il centro di gravità dovrà trovarsi sul punto d'intersezione delle due rette. Sarebbe facile dimostrare che *questo punto è situato ad un quarto, contando dalla base, della retta che congiunge il vertice col centro di gravità della base medesima.*

Lo stesso vale anche per qualunque piramide, che abbia per base un poligono di un maggior numero di lati del triangolo. Il cono si può considerare come una piramide a base

circolare, e quindi anche il centro di gravità del cono è posto sulla retta che unisce il vertice al centro di gravità della base, ad un quarto partendo dalla base.

Determinazione del centro di gravità di un corpo eterogeneo. Se il corpo non è omogeneo, il centro di gravità non coincide più col centro della figura. In questo caso si può giungere a determinarlo col seguente processo, che è pure applicabile al caso in cui il corpo è omogeneo.

Sia MN (Tav. II, Fig. 51) un corpo qualunque. Se si sospende per un filo AB , il corpo rimarrà in equilibrio quando la verticale del centro di gravità si troverà nella direzione del filo di sospensione, imperocché la forza che è applicata al centro di gravità non può essere distrutta dalla resistenza del filo se non quando queste due forze agiscono secondo la stessa linea. Adunque il prolungamento della linea AB , deve passare pel centro di gravità. Ripetendo questa operazione sopra un altro punto B' , si avrà un'altra linea sulla quale dovrà trovarsi il centro di gravità: dunque, se si sarà tracciata nel corpo la direzione del filo di sospensione in queste due posizioni di equilibrio, il centro di gravità, sarà determinato dalla intersezione di queste due linee.

Condizioni di equilibrio dei corpi gravi. — La principale condizione di equilibrio di un corpo grave si è, che il suo centro di gravità sia sostenuto; ma questa condizione si soddisfa in diverse maniere, secondo che il corpo è sospeso a dei punti fissi o posato su degli appoggi.

1.° Supponiamo per es. un disco omogeneo traversato da tre fori eguali a, b, c (Tav. II, Fig. 52) e il cui centro di gravità sia al centro della figura, questo disco sarà in equilibrio in tutte le posizioni intorno ad un asse che passa pel foro centrale a , e questo equilibrio si chiama *indifferente*; se l'asse passa pel foro superiore b l'equilibrio è *stabile*, perchè il corpo tende a ritornarvi quando se ne allontana; si vede infatti che facendo un poco girare il disco intorno a quest'asse, il centro di gravità si sposta a dritta o a sinistra sull'arco mn . Esso non è più sostenuto perchè non è più nel piano verticale dell'asse di sospensione, e discende per ritornare, dopo una serie di oscillazioni, a fer-

marsi in questo piano; se l'asse passa pel foro inferiore c , il disco può ancora essere matematicamente in equilibrio: ciò avrà luogo se il centro di gravità si trova nella verticale dell'asse; ma è in equilibrio instabile, perchè nel momento in cui il centro di gravità esce da questo piano, se ne allontana sempre più, e descrive una semicirconferenza per venire a fermarsi al di sotto dell'asse di sospensione. Generalizzando questi risultati si vede che un corpo qualunque sospeso per un asse può essere in equilibrio stabile, instabile o indifferente, secondo che il suo centro di gravità è al disotto dell'asse, al di sopra dell'asse o nell'asse stesso.

2.° Esaminiamo ciò che accade ad un disco semplicemente posato sopra un piano orizzontale, e supponiamo che questo disco, composto per es. di piombo e di legno, abbia il suo centro di gravità sulla circonferenza $a b d$ (Tav. II, Fig. 53) a una distanza grande dal suo centro di figura. Resulta da ciò che precede che vi saranno solamente due posizioni di equilibrio, l'una stabile, quando il centro di gravità sarà in a , l'altra instabile, quando il centro di gravità sarà in b .

Questo fatto può anche provarsi per mezzo di una palla, di cui una metà sia fatta di legno dolce e l'altra metà di metallo o di legno più duro. Una sfera così costruita non ha il suo centro di gravità nel punto in cui l'avrebbe se fosse omogenea, cioè a dire nel suo centro. Si trova in questo caso portato dentro la metà formata dalla materia più densa, come se questa appartenesse ad una sfera assai più grande. L'equilibrio è instabile allorchè la palla tocca il piano coll'emisfero di legno dolce, ed è stabile nel caso contrario.

Da tutti questi fatti ne dedurremo che per la stabilità dell'equilibrio di un corpo grave è necessario che il suo centro di gravità si trovi sempre nel punto più basso possibile. È con questo principio fondamentale che si può spiegare il fenomeno conosciuto col nome di *paradosso meccanico*, il quale consiste nel movimento di ascensione che prende un doppio cono riunito per le due basi, il quale scorre sopra due aste di legno riunite ad angolo ed inclinate verso il suo vertice. Il doppio cono sembra effettivamente salire; ma se si osserva la posizione del suo centro di gravità, si vede che questo punto di-

scende costantemente. Un'infinità di giuocarelli da fanciulli sono fondati sullo stesso principio. Tali sono per es., il cavallo ad altalena, e certi fantocci a grosso ventre che oscillano lungo tempo dopo una debole spinta. Il movimento oscillatorio di questi trastulli dipende dalla caduta e successiva ascensione del centro di gravità, in virtù della velocità acquistata nella caduta.

Allorchè i corpi posano sul suolo con una base più o meno larga, è necessario per l'equilibrio, che la verticale del centro di gravità cada nel perimetro di questa base. Si vede da ciò che un cilindro obliquo sarà in equilibrio se non avrà che una lunghezza $a b$, e che cadrà, se gli si sovrapporrà un'altro cilindro che sposti il centro di gravità fino a portarlo al di fuori delle verticali del contorno della base (*Tav. II, Fig. 54*). Egli è per questa ragione che le torri inclinate si reggono, dando loro una base assai larga, e tenendo basso il loro centro di gravità con muri più grossi in basso. In questa guisa la verticale del centro di gravità cade dentro la base. Un carro, il cui carico sia molto alto e molto peso verso la sommità, rischia di rovesciare passando da uno dei lati inclinati di una strada. Infatti il suo centro di gravità essendo molto alto, non si trova più sostenuto quando il carro riceve una certa inclinazione, come è facile osservare abbassando una perpendicolare CA (*Tav. III, Fig. 56*) che passi pel centro di gravità C del carro. Se il carro fosse più basso, la verticale CA cadrebbe dentro la base, ed il medesimo non si rovescerebbe. In generale la stabilità di un corpo che posa sopra una base è tanto più grande quanto più la verticale del centro di gravità cade verso il mezzo di essa.

Un'altra condizione per l'equilibrio dei corpi gravi si è che l'ostacolo o punto d'appoggio, o meglio ancora la forza applicata in senso contrario alla risultante, dev'essere eguale in intensità alla medesima, e perciò eguale al peso del corpo cui fa equilibrio. Non basterà perciò per l'equilibrio di un corpo grave che l'ostacolo si trovi nella verticale del centro di gravità; bisognerà altresì che questo ostacolo rappresenti una forza eguale al suo peso. Infatti un filo sottile di seta fisso con una sua estremità non regge una grossa palla di piombo,

benchè il centro di gravità di questa sia nella verticale del punto fisso. Il peso della palla vince la resistenza del filo.

Le condizioni di equilibrio, quali sono state da noi date, non sono realmente sufficienti che nelle speculazioni teoriche, giacchè suppongono alla materia una proprietà di cui essa non gode; esse suppongono che tutti i corpi sieno perfettamente rigidi, cioè a dire che non sieno nè elastici, nè compressibili, e che le loro molecole sieno invariabilmente legate fra loro.

Difatti concepiamo un lungo tubo molto sottile, di vetro, che riposi pel suo mezzo sopra un appoggio qualunque; il suo centro di gravità sarà sostenuto, ma il tubo non rimarrà orizzontale come dovrebbe, giacchè esso si piegherà in virtù della sua elasticità, e tanto più quanta più massa avranno le sue estremità. Lo stesso deve dirsi di un albero, il quale non cade finchè la verticale del suo centro di gravità cade nel recinto compreso fra le sue radici, ma i rami si piegano, e talvolta lo stesso tronco si schianta, perchè l'azione della gravità non cessa di farsi sentire in tutte le sue parti; e per distruggerla in tutti i punti con una forza applicata al suo centro di gravità converrebbe che tutti questi punti fossero fra loro invariabilmente legati.

S'intende parimente con facilità che i cambiamenti di forma che resultano, sia dalla elasticità, sia dalla compressibilità dei corpi, sia, negli animali, dai movimenti volontarj che fanno cambiare di posizione le membra, sono altrettante cause che influiscono sul loro stato di equilibrio. Così un uomo che si pieghi colla vita, sia in avanti che indietro, che si abbassi per raccogliere un oggetto da terra, o che si ponga ritto sopra un sol piede, sposta sempre il suo centro di gravità variando in conseguenza le sue condizioni d'equilibrio. È per questo motivo che un uomo che porta un fardello sulle spalle si piega in avanti, mentre si piega all'indietro se lo porta tra le braccia. Egli fa ciò in ambo i casi affinchè la verticale del suo centro di gravità passi fra i suoi piedi, senza di che perderebbe l'equilibrio. I ballerini di corda acquistano, mediante una lunga abitudine, la facoltà di appoggiarsi sopra una base di sostegno estremamente ristretta, quale si è la corda. Sono as-

sai facilitati in questo esercizio munendosi d'una lunga pertica, chiamata bilanciere, fornita di un peso ad ogni sua estremità. Quando si accorgono di pendere a destra o a sinistra, inclinano il bilanciere dal lato opposto, in modo da ricondurre il centro di gravità nella sua posizione di equilibrio.

La gravità agisce egualmente su tutti i corpi. — Quando si fanno cadere dalla stessa altezza corpi di varia natura e dimensioni, si osserva che alcuni cadono più presto ed altri più tardi; così, per es., noi vediamo una palla di piombo cadere con molta maggior velocità di un pezzo di carta. Da questi fatti siamo ad un tratto indotti a concludere che la gravità agisca diversamente sui varj corpi, comunicando ad alcuni una maggiore velocità che ad altri. Prima di Galileo si riteneva che la velocità della caduta dei corpi fosse proporzionale alla loro massa. Questo grande filosofo provò il primo che tali differenze di velocità dipendevano dalla resistenza dell'aria; che tutti i corpi sono sollecitati dalla stessa forza di gravità, e che se non esistesse l'impedimento dell'aria tutti cadrebbero nel medesimo tempo.

Egli fece infatti cadere nello stesso istante dalla cima della torre della cattedrale di Pisa dei globi di egual volume di sostanze diverse, come oro, piombo, argento, porfido, cera, e vide che tutti cadevano presso a poco nello stesso tempo, e il solo globo di cera, era un poco in ritardo. La resistenza che incontravano nell'aria questi globi, era eguale per tutti, perchè essendo eguali ne spostavano la stessa quantità; quindi la gravità agiva egualmente su tutte quelle varie sostanze, comunicando loro la stessa velocità. La piccola differenza osservata nella velocità del globo più leggero non poteva attribuirsi alla differenza di densità, che era considerevole, ma alla differente diminuzione di velocità per effetto della resistenza dell'aria.

Se la resistenza dell'aria è la cagione della differente velocità che prendono i corpi nella loro caduta, egli è chiaro che in un mezzo privo di aria dovranno tutti cadere colla stessa velocità, qualunque sieno le loro dimensioni e i loro pesi. Così accade realmente. Se in un tubo molto lungo di

cristallo sul fondo del quale sieno situati un pezzo di piombo ed uno di carta, si fa il vuoto, e quindi si capovolge tutto ad un tratto, il piombo e la carta cadranno contemporaneamente dall'alto e giungeranno ambedue nel medesimo tempo all'altra estremità del tubo.

Vi sono anche altri esperimenti comprovanti che è la resistenza dell'aria la cagione della diversa velocità che prendono i corpi nel cadere. Se si prendono due fogli di carta perfettamente eguali, e di uno se ne fa una palla, e si fa cadere insieme all'altro spiegato, il primo cade con celerità, mentre il secondo cade con molta lentezza. Un disco di carta sovrapposto a un disco di metallo cade colla stessa velocità di quest'ultimo, e non si distacca da lui perchè il disco metallico toglie la resistenza dell'aria a quello di carta.

Adunque quando la gravità agisce sola, quando non è combattuta da alcuna resistenza che nocchia ai suoi effetti, essa sollecita tutti i corpi colla stessa energia, ed imprime loro la stessa velocità qualunque sia il loro peso, qualunque sia la sostanza che li compone. Nel vuoto una montagna non cadrebbe più velocemente di una piuma.

I corpi di maggior massa, avendo la stessa velocità di quelli di minor massa, devono essere necessariamente sollecitati da una maggior forza. Perchè una massa doppia abbia la stessa velocità dell'unità di massa bisogna pure che la forza sia doppia. Un corpo che ha 100 volte più massa, sente cento volte più l'azione della gravità; ma la velocità non è cambiata, perchè anche la massa da mettersi in moto è divenuta più grande, e precisamente quanto la forza.

Vediamo adesso come avviene che i corpi meno pesanti sono più tardi nel cadere per la resistenza dell'aria.

Supponiamo di avere due corpi di egual volume, per esempio due sfere, una di piombo ed una di cera; ambedue cadendo dovranno sloggiare la stessa colonna d'aria ed imprimere del moto, e perciò dovranno comunicare all'aria una medesima quantità di forza. Questa forza tolta alle particelle del piombo ed a quelle della cera, non produrrà nelle prime la stessa diminuzione di gravità che nelle seconde, perchè il piombo ha una massa molto maggiore, e dovrà repartire

quella forza o resistenza in un maggior numero di particelle. Quindi ciascuna particella del piombo perderà meno forza di ognuna di quelle della cera; e per questo dovrà la sfera di piombo, e in generale il corpo più pesante, cadere più presto della cera o del corpo più leggero.

Determinazione del peso dei corpi. — I pesi sono forze che possono valutarsi in due modi diversi. Quando si considerano come forze motrici, abbiamo detto che si paragonano ad una forza che si prende per unità, ed è quella della gravità che agisce sopra l'unità di massa, per cui esprimendo con M la massa di un corpo, con g la gravità, l'espressione del peso di un corpo è gM . Si possono anche valutare i pesi paragonandoli a quello di un volume determinato di un certo corpo, il quale è adunque l'unità di peso. I numeri che così ottengono rappresentano i rapporti delle masse dei corpi, alla massa del corpo il cui peso è stato preso per unità, imperocchè si sia visto che le masse dei corpi sono proporzionali ai loro pesi. Determinare adunque il peso di un corpo equivale a trovare di quante unità di peso egli sia composto.

L'unità di peso più generalmente adottata è il *grammo*, perchè desunta dal sistema metrico, di cui abbiamo già indicato i pregi. Un grammo è il peso nel vuoto di un centimetro cubico di acqua distillata, alla temperatura di 4 gradi.

Si usano anche delle unità submultiple, chiamate *decigrammi*, *centigrammi*, *milligrammi*, costituite da $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{100}$ e $\frac{1}{1000}$ di grammo, e delle unità multiple formate di 10, 100, e 1000 grammi, sotto i nomi di *decagrammi*, *ectagrammi* e *chilogrammi*.

Il *miriagrammo* o *rubbo* si compone di 10 chilogrammi, il *quintale* di 100 e la *tonnellata* di 1000.

In Toscana l'unità di peso è la *libbra*, la quale si divide in 12 oncie; l'oncia si divide in 8 dramme, la dramma in 3 denari e il denaro in 24 grani.

La libbra toscana è presso che $\frac{1}{3}$ del chilogrammo francese; difatti questo peso equivale a libbre toscane 2,945144, ossia libbre 2, oncie undici, denari 8 e grani 4. Un grammo francese equivale a 22 grani toscani, quindi è che un grano toscano è eguale a 50 milligrammi.

Gli apparecchi che servono a pesare diconsi *bilance*.

La bilancia ordinaria si compone di un'asta mobile $a b$ (Tav. II, Fig. 55) sostenuta nel suo mezzo m ; e i cui bracci $a m$ e $b m$ sono destinati a portare i bacini c e d , mobilissimi intorno ai loro punti di attacco. Dopo avere equilibrato questi bacini si pone in uno di essi il corpo che si vuol pesare e nell'altro dei pesi segnati finchè l'equilibrio non è stabilito, cioè a dire finchè l'asta non è perfettamente orizzontale. Allora se la bilancia è giusta, il peso del corpo è espresso dal numero dei grammi e frazioni di grammi che è bisognato mettere nell'altro bacino; ma se la bilancia non è giusta, se i suoi due bracci non sono matematicamente eguali, è evidente che il peso del corpo non è più rappresentato dai pesi che gli fanno equilibrio nell'altro bacino, giacchè essendo la bilancia una leva di primo genere, i pesi sono in ragione inversa della lunghezza dei bracci di leva, e non sono eguali se non quando i bracci sono eguali.

Siccome egli è presso che impossibile di fare una bilancia i cui bracci sieno perfettamente eguali, si sono immaginati diversi metodi per rimediare a questo inconveniente. Il più semplice è quello immaginato da Borda, detto della *doppia pesata*. Consiste nell'equilibrare il corpo con della munizione di piombo, della sabbia, o altri oggetti; poi nel ritirare il corpo quando l'equilibrio è stabilito, e sostituirvi i pesi che sono necessarj per ristabilire l'equilibrio. Questi pesi prendendo così il posto del corpo da pesare, l'ineguaglianza dei bracci non può più avere influenza.

La bilancia ordinaria di cui abbiamo parlato non può servire che per delle pesate inesatte. Per le pesate esattissime bisogna impiegare una bilancia più perfetta, che trabocchi facilmente ad un milligrammo, quando essa è carica di un chilogrammo in ogni bacino. Ecco le principali condizioni per mezzo delle quali si giunge a questi risultati.

La costruzione della bilancia deve sempre adattarsi alle cariche che è destinata a portare, giacchè queste misurano la rigidità e quindi la grossezza che convien dare all'asta. Costruendo questi istrumenti con asta e bacini estremamente leggeri, si rende sensibile a pesi estremamente piccoli. Un'al-

tra condizione per la bontà della bilancia si è che il suo equilibrio sia stabile; ed infatti se il centro di gravità coincidesse coll'asse di rotazione o punto di appoggio, l'equilibrio sarebbe indifferente, e la bilancia si troverebbe in equilibrio in tutte le posizioni, e spostata non potrebbe mai rimettersi da sé nella sua posizione. Se il centro di gravità fosse al di sopra del punto di appoggio, allora il centro di gravità cadendo dal lato del bacino carico, obbligherebbe la bilancia a discendere intieramente, e ciò accadrebbe pel più piccolo peso; la bilancia diverrebbe, come diceasi comunemente, *folle*. Infine se il centro di gravità trovasi situato al disotto del punto di appoggio, allora all'inclinarsi dell'asta il centro di gravità passa dalla parte che si solleva, per cui la bilancia tende a rimettersi nella sua primitiva posizione. Perchè però la bilancia così costruita trabocchi ad un piccolo peso, non deve il centro di gravità essere troppo al di sotto dell'asse di rotazione, giacchè il momento della forza che tende a ricondurlo cresce con questa distanza, ed è eguale allo sforzo necessario a spostarlo. I punti di sospensione dei bacini devono essere o nella stessa linea dell'asse; o meglio anche un poco al di sopra. In questo caso s'acresce la sensibilità della bilancia per le cariche forti non scendendo tanto il centro di gravità al di sotto del centro di rotazione. La durezza e il pulimento del piano su cui posa il coltello di sospensione dell'asta, l'angolo molto acuto, senza esser vivo, e la durezza della materia di questo coltello fanno sì che il suo contatto col piano non cangi, e provi il meno attrito possibile.

Le figure annesse c'indicano il modo col quale si costruiscono oggidì le bilance le più sensibili che si conoscano. L'asta *f* è traversata da un coltello di acciaio *a* (Tav. II, Fig. 56) il cui spigolo acuto riposa su dei piani *b* di acciaio o di agata. I due bacini *c* (Tav. II, Fig. 57) si attaccano all'asta mediante il gancio *d* e l'anello *g*, che va a riposare mediante due uncini sul tagliente del coltello *h*. Tutti questi punti di contatto sono a spigoli smussati e di acciaio; ne risulta che il centro di gravità di ogni bacino e dei pesi che contiene si pone liberamente nella verticale dei punti di appoggio, per cui rimane invariabile la sua distanza dal punto di sospensione nel mezzo dell'asta.

Per conservare la levigatezza del coltello di sospensione *a* e dei piani sui quali riposa, si adatta alla bilancia un sistema di forchette capaci di afferrare l'asta per disotto. Questo sistema può essere sollevato o abbassato a volontà, per cui si può tenere sollevata l'asta della bilancia mentre si cambiano i pesi nei bacini; poi lasciando dolcemente ridiscendere le forchette, il coltello viene a riposare sui suoi piani, e l'asta può fare delle oscillazioni più o meno grandi secondo che le forchette sono state più o meno abbassate. Si aggiunge infine un ago assai lungo all'asse di rotazione, il quale serve a indicare sopra un quadrante fisso alla base, i più piccoli cambiamenti d'inclinazione dell'asta, e a misurare l'ampiezza delle sue oscillazioni.

La *stadera* è una bilancia (Tav. II, Fig. 58) a braccia disuguali. Uno dei bracci *BC* conserva una lunghezza costante, e porta il bacino *E*, ed all'altro si applica, a differenti distanze dal fulcro *C*, il peso *Q* detto *romano*. Sul bacino *E* si colloca il corpo di cui si cerca il peso. È chiaro, che per le proprietà della leva di primo genere, il romano applicato a differenti distanze dal fulcro o asse di rotazione sul braccio più lungo della stadera, farà equilibrio con corpi di differente peso posti sul bacino. La stadera ha questo vantaggio sulla bilancia comune, che con un sol peso si determina quello di molti corpi diversi, mentre colla bilancia sono necessari molti pesi.

Densità o peso specifico. Il peso di un corpo può anche essere determinato a fine di stabilire la sua densità. Infatti noi abbiamo già visto che essa deducesi dal rapporto che esiste fra la massa o peso e il volume del corpo. Questo rapporto costituisce una proprietà caratteristica per ogni corpo. Difatti un corpo sotto lo stesso volume, ha costantemente lo stesso peso. Un centimetro cubico di acqua pesa in tutti i paesi del mondo un grammo; un centimetro cubo di oro pesa 19 grammi e 258 milligrammi.

Il peso di un corpo sotto un volume dato, è ciò che chiamasi *densità* o *peso specifico* del corpo. Adunque prendendo i pesi dei varj corpi tutti sotto lo stesso volume, si hanno le varie loro densità, le quali sono sempre costanti purchè prese alla stessa temperatura, perchè il calore altera il volume dei corpi. Da ciò che si è detto, risulta:

1.° Che a volumi eguali le densità dei corpi sono proporzionali ai loro pesi;

2.° Che a pesi eguali le densità sono in ragione inversa dei volumi ;

3. Che la densità può sempre esprimersi col rapporto del peso al volume , ossia $D = \frac{P}{V}$.

Onde ottenere le densità o i pesi specifici dei corpi , si determina il loro peso assoluto sotto lo stesso volume , e quindi si trova il rapporto di questo peso con quello preso per unità. Pei corpi solidi l'unità si riferisce all'acqua , e all'aria pei corpi gassosi ; così 19,258 è il peso specifico dell'oro , perchè è il peso di un centimetro cubo d'oro , mentre 1 è il peso di un egual volume di acqua.

In generale si chiama P il peso assoluto di un volume qualunque d'acqua , P' il peso assoluto di un egual volume di qualsiasi corpo ; è chiaro che a volumi eguali essendo le densità proporzionali ai pesi il peso specifico del corpo si avrà dalla proporzione

$$P : P' :: 1 : X ,$$

da cui si ha che $X = \frac{P'}{P}$. Perciò per trovare la densità , ossia il peso specifico di un corpo , basterà determinarne il peso assoluto , e quindi dividere questo pel peso di un eguale volume di acqua.

Quando trattammo delle macchine semplici dicemmo che non era possibile intendere le condizioni di equilibrio di un corpo sul piano inclinato e quelle della vite , senza prima esporre le nozioni principali relative alla gravità dei corpi. Avendo ora acquistate tali nozioni , torneremo a trattare di queste due macchine.

Del piano inclinato. Definimmo il piano inclinato qualunque piano che fa coll'orizzonte un angolo non retto. Il piano inclinato si annovera fra le macchine , in quanto che diminuisce l'effetto della gravità , la quale altrimenti si opporrebbe tutta intiera alla forza diretta a muovere il corpo. Vediamo adesso a quanto riducesi l'azione della gravità agendo su di un corpo che posi sopra un piano inclinato.

Rappresentiamo un piano inclinato all'orizzonte colla sezione fatta su di esso da un piano verticale. Sia ABC (*Tav. II, Fig. 59*) questa sezione: la retta AC chiamasi la *lunghezza* del piano; la verticale AB è la sua *altezza*, e l'orizzontale BC è la sua *base*. Il corpo M sia posto sopra questo piano. È certo che l'azione della gravità sarà in esso in parte distrutta: si tratta ora di determinare di quanto lo sarà. La linea EG perpendicolare all'orizzonte e diretta pel centro di gravità del corpo ci rappresenti la *gravità assoluta*, cioè quella forza colla quale cadrebbe liberamente senza la presenza del piano. Col principio del parallelogrammo delle forze si risolve EG nelle due componenti EF perpendicolare, ed EH parallela al piano. La forza EF diretta contro il piano e normalmente vi esercita una pressione e non ha alcuna azione per far cadere il corpo lungo di esso; rimane la EH che agisce sola per far cadere il corpo e che chiamasi *forza* o *gravità relativa*.

La somiglianza dei due triangoli ABC , EFG ci darà la proporzione

$$EG : FG = EH :: AC : AB,$$

la quale può tradursi in quest'altra: *la gravità assoluta g sta alla gravità relativa g' , come la lunghezza sta all'altezza del piano inclinato.*

Chiamando A l'altezza del piano inclinato ed L la sua lunghezza, si ha la proporzione

$$g : g' :: L : A,$$

da cui si ricava, che la componente della gravità parallela al piano inclinato può esprimersi colla formola $g \frac{A}{L}$.

Supposto di voler fare equilibrio alla gravità del corpo M con una potenza P , la cui direzione sia parallela al piano inclinato, siccome la potenza dovrà essere eguale alla gravità relativa, se ne deduce che in questo caso *la potenza e la resistenza dovranno stare fra loro come la gravità relativa alla gravità assoluta, cioè a dire come l'altezza sta alla lunghezza del piano inclinato.* —

Questa legge può verificarsi coll'esperienza. Si abbia un piano ben levigato, di cui si possa variare a volontà l'inclinazione coll'orizzonte. Sopra una carrucola fissa all'estremità su-

periore di questo piano scorra una cordicina unita con una estremità ad un cilindro di marmo posato sul piano, coll'altra che cade verticalmente, ad un bacino in cui pongonsi dei pesi. Variando l'inclinazione si ottiene sempre l'equilibrio variando i pesi che stanno nel bacino; così inclinando maggiormente il piano, dovranno aggiungersi più pesi, perchè il cilindro non cada. In tutti i casi di equilibrio si trova sempre, confrontando la lunghezza del piano colla sua altezza, che il peso del cilindro sta al peso che si ha nel piatto come la lunghezza all'altezza del piano.

Agisca ora la potenza P' in direzione parallela alla base BC (Tav. II, Fig. 59). Si prenda la forza LE eguale ed opposta alla gravità relativa EH , e da L si conduca la LN parallela ad EF sino all'incontro della direzione della potenza P' , indi si compia il parallelogrammo EL, NR . È evidente che nel caso dell'equilibrio, la potenza P' dev'essere eguale a NE perchè risolta nelle due forze ER, EL , l'una perpendicolare e l'altra parallela al piano AC . La ER sarà distrutta dal piano, e la sola EL si oppone direttamente alla gravità relativa EH , colla quale fa equilibrio come eguale ed opposta. Ora per le due parallele EN e CB , e le due NR e AC , l'angolo ENR eguaglia l'angolo C , e quindi i due triangoli ERN, ABC per essere anche rettangoli in R e in B sono simili, e perciò ERN riesce simile ad EFG . Dunque avremo la proporzione

$$EN : EG :: NR : EF$$

ossia per essere

$$NR = LE = EH = FG$$

$$EN : EG :: FG : EF$$

e siccome

$$FG : EF :: AB : BC$$

avremo

$$EN : EG :: AB : BC.$$

Dunque in questo caso la potenza sta alla resistenza, come l'altezza alla base del piano. Il piano inclinato è assai impiegato nelle arti, perchè lo sforzo necessario per sollevare ad una certa altezza un corpo sopra un piano inclinato può ridursi assai minore del suo peso: così se si dà ad un piano

una tale inclinazione che faccia la sua lunghezza 100 volte maggiore della sua altezza corrispondente, lo sforzo da esercitarsi per muovere il corpo sul piano ed inalarlo alla sua altezza non sarà che $\frac{1}{100}$ del suo peso. E qui abbiamo luogo di ripetere ciò che dicemmo dell'effetto generale delle macchine. Anche in questo caso la quantità di lavoro non è minimamente cresciuta. La strada percorsa sul piano con una forza eguale ad $\frac{1}{100}$ del peso del corpo, è cento volte più lunga dell'altezza del piano, e in realtà il peso non si solleva che di questa altezza.

Nella discesa dei corpi sul piano inclinato, come in generale in ogni movimento di un corpo sopra un piano, v'è sempre una parte di forza distrutta dall'*attrito*, il quale può attribuirsi non solo al penetrare che fanno le prominenze delle due superfici che si toccano nei vacui rispettivi delle medesime, ma anche all'aderenza che si produce in conseguenza della forza di attrazione molecolare, nel contatto di due superfici levigate, e tanto più quanto più sono levigate.

Egli è appunto per mezzo del piano inclinato che si è giunti in molti casi a determinare il valore di questa resistenza. L'apparecchio consiste in un piano mobile intorno ad una cerniera e di cui si può variare a volontà l'inclinazione, avendo sopra un arco graduato la misura dell'angolo. Posto un corpo *M* sopra un piano inclinato, si trova sempre una posizione sulla quale la sola resistenza o attrito distrugge l'effetto della gravità relativa, e il corpo non cade. Si determina l'angolo del piano, nel quale il corpo comincia a mettersi in movimento, e si calcola il valore della componente parallela al piano con la formula trovata $g \frac{A}{L}$, prendendo per l'angolo che dà i valori di *A* e di *L* un angolo minore di una quantità piccolissima di quello al quale il corpo ha cominciato a muoversi. Sarà questa componente la misura dell'attrito.

Resulta da molte esperienze di Coulomb, che in generale l'attrito è proporzionale alla pressione che il corpo esercita sul piano su cui si muove, ed all'estensione della sua superficie; che è molto minore allorquando il corpo è in moto, di

quello che quando comincia a muoversi dopo averlo lasciato qualche tempo in riposo; che è maggiore fra corpi della stessa natura, che fra corpi di natura diversa; che infine è assai più piccolo, allorchè ha luogo il contatto fra parti successivamente diverse di due superfici, di quello che quando i punti di contatto di una delle due superfici rimangono costantemente gli stessi; o in altre parole, l'attrito è infinitamente diminuito se le due superfici che si toccano si muovono contemporaneamente.

Della vite. Per determinare nella vite le condizioni dell'equilibrio fra la potenza e la resistenza si ricorre alle seguenti considerazioni.

Sia *ABDC* (Tav. II, Fig. 60), un cilindro attorno al quale si avvolgano i triangoli o piani inclinati eguali *BHP*, *PIQ*, *QLR* ec., ciascuno dei quali abbia per base le linee *PH*, *QI*, *RL* ec., equivalenti in lunghezza alla periferia del cilindro, e le ipotenuse *BH*, *PI* ec., formino un orlo rilevato. È chiaro che nell'avvolgimento di quei triangoli il punto *H* verrà a coincidere con *P*, *I* con *Q*, *L* con *R* ec., e che formando ciascuno coll'orlo sporgente una spira, tutte queste spire si riuniranno e formeranno attorno al cilindro un'elica continua rilevata. Quest'elica in tal modo formata costituirà il pane della vite e trasformerà il cilindro *ABCD* in un mastio. Il passo della vite sarà eguale alle altezze *BP*, *PQ*, *QR*, tutte eguali fra loro, di ciascun piano inclinato; e le basi *PH*, *QI* ec., saranno eguali alla periferia del cilindro. Dunque nella vite il *pane* è la *lunghezza* in rilievo d'un piano inclinato, il *passo* ne è l'altezza, mentre la *periferia* del cilindro ne eguaglia la *base*. Quindi un punto pesante in equilibrio sul filo della vite deve considerarsi come in equilibrio su tal piano inclinato. Ciò posto, poichè la potenza che si applica alla vite, agisce parallelamente alla circonferenza del cilindro, ossia alla base del piano, la *potenza della vite starà alla resistenza, come il passo della vite* (altezza del piano), *alla circonferenza del cilindro* (base del piano); oppure nel caso che la potenza venga applicata al cilindro mediante una manovella, la *potenza starà alla resistenza, come il passo della vite alla circonferenza descritta dalla potenza*.

L'applicazione della vite ad altre macchine ne può aumentare l'effetto. Suppongasì per es. che la ruota di un tornio sia dentata, e che i suoi denti ingranino colle spire di una vite che una potenza tende a far girare per mezzo di una manovella. Si determinerà il rapporto della potenza al peso nel modo seguente.

Sia F (*Tav. II, Fig. 61*) la potenza, S la resistenza che uno dei denti della ruota oppone al pane della vite, a l'altezza di una spira, k il raggio della circonferenza che tende a descrivere la potenza.

Si avrà primieramente

$$F : S :: a : \text{circ. } k$$

Inoltre essendo P il peso applicato alla circonferenza del cilindro, R il raggio della ruota, ed r il raggio del cilindro, si avrà

$$S : P :: r : R$$

e moltiplicando le due proporzioni si ottiene

$$F : P :: ar : R \text{ circ. } k$$

cioè a dire, la *potenza sta al peso o alla resistenza, come il prodotto del passo della vite pel raggio del cilindro, al prodotto del raggio della ruota dentata per la circonferenza descritta dalla potenza.*

Questa macchina chiamasi *vite perpetua*, e partecipa della leva, del piano inclinato e del tornio.

Leggi della caduta dei corpi. — Dopo aver mostrato che in realtà tutti i corpi cadono colla stessa velocità, bisogna cercare qual'è questa comune velocità che regola la caduta di ogni sorta di materia, e in generale qual rapporto esiste tra lo spazio che percorre un corpo pesante e il tempo che impiega a percorrerlo. Questo rapporto sarà la legge della gravità, cioè a dire la legge del moto che la gravità imprime alla materia.

Questa questione non può essere risolta in un modo diretto, perchè la velocità dei corpi che cadono prende un'accelerazione così rapida, che a capo di pochi istanti non è più possibile di notare gli spazj che percorrono. Ma ciò che non può essere ottenuto con delle osservazioni dirette, si ottiene

con dei mezzi indiretti, quali sono il piano inclinato di Galileo e la macchina di Atwood, il primo più semplice, ma il secondo più rigoroso.

Piano inclinato di Galileo. — Consiste in una corda di 10 a 12 metri di lunghezza, che si tende fra due punti fissi, uno dei quali è più basso dell'altro, e sulla quale si fa scorrere una piccola carrucola di metallo convenientemente disposta. Il peso della carrucola, sarebbe intieramente distrutto, se la corda fosse orizzontale; essa produrrebbe tutto il suo effetto se fosse verticale; e poichè la corda ha un certo grado d'inclinazione, la gravità non opera sulla carrucola che ridotta in una certa proporzione. Ma qualunque sia il rapporto col quale si diminuisce una forza, sia che si riduca alla metà, al terzo o al quarto della sua grandezza, non si cambia che il momento assoluto che essa imprime, senza nulla cambiare al rapporto degli spazj percorsi in tempi dati. Perciò la legge che noi osserveremo sulla corda inclinata, sarà la vera legge della gravità. Ora, se si lascia scorrere la puleggia a un dato istante, se si notano gli spazj che percorre nel primo secondo, nei primi due secondi ec., si osserva che questi spazj percorsi sono fra loro come i quadrati dei tempi impiegati a percorrerli. Dunque il movimento che la gravità imprime segue la stessa legge, il che vuol dire che la gravità è una forza acceleratrice costante.

Macchina di Atwood. — Per la semplicità del ragionamento noi ridurremo questo apparecchio ai suoi elementi essenziali, cioè a dire ad una puleggia perfettamente mobile, sulla quale passa un filo finissimo, che è tirato a ciascuna delle sue estremità dallo stesso peso m . L'equilibrio esiste quando i due pesi sono allo stesso livello, ed esiste anche quando l'uno è più alto dell'altro, e ciò atteso il peso appena sensibile del filo. Aggiungiamo adesso da un lato una piccola massa che rappresenteremo con n ; è chiaro che l'equilibrio vien rotto, che il peso n trascina il peso sul quale riposa e che lo costringe a discendere, mentre costringe l'altro a salire. Ma qual è il movimento che ne risulta? È forse lo stesso di quello che pren-

derebbe il peso n cadendo liberamente, ovvero è desso modificato dai pesi opposti che si muovono con lui?

Il movimento delle due masse primitive è quello soltanto che vien loro comunicato dalla massa n ; quindi questa perde considerevolmente di forza, e cade assai meno velocemente che se cadesse sola. È anche facile trovare di quanto la sua caduta è rallentata.

Sia g la velocità che sarebbe dovuta alla gravità dopo un secondo di tempo; la massa n se fosse libera avrebbe dunque dopo un secondo questa stessa velocità g , e quindi una quantità di movimento gn . Sia x la velocità sconosciuta che prendono dopo un secondo le due masse m e la piccola massa n cadendo insieme; la quantità di movimento del sistema sarà $x(2m + n)$, poichè le masse che si muovono sono da un lato m , e dall'altro $m + n$, di cui la somma è eguale a $2m + n$. Ora in un secondo la massa n riceve dalla gravità la stessa quantità di movimento, sia che cada liberamente, sia che cada con un moto ritardato da altre masse. Dunque x

$$(2m + n) = gn \text{ da cui } x = g \frac{n}{2m + n}$$

È questa nella macchina dell'Atwood la velocità del corpo che cade. Essa è sempre più piccola di g , e potrà esserne quella frazione che si vorrà. Se vuolsi p. es. che sia un centesimo, basterà che

$$\frac{n}{2m + n} \text{ sia } = \frac{1}{100}, \text{ da cui}$$

$$100n = 2m + n, \text{ e quindi}$$

$$n = \frac{2m}{99} = \frac{m}{49,5}$$

Ciò vuol dire che il piccolo peso dovrà essere $\frac{1}{49}$ e $\frac{1}{50}$ di m .

Prendendo p. es. $n = 10$ grammi, converrà che il peso di m sia eguale a 49,5 grammi.

Questo modo di ridurre la velocità è il vero principio della macchina di Atwood. Ecco ora la sua disposizione.

(Tav. III, Fig. 62). 1.° Per evitare l'attrito si fanno riposare le estremità dell'asse della puleggia su due altre pulegge più piccole, di cui gli assi terminano in perni che girano dentro incavi di acciaio.

2.° Per misurare gli spazj con esattezza si dispone presso

la colonna un'asta verticale e divisa $R R'$ lungo la quale deve cadere la massa $m + n$ senza toccarla. Su quest'asta scorrono un anello a ed un piano c , che possono fissarsi in un punto qualunque dell'asta.

3.° Per valutare il tempo durante il quale il mobile si è mosso, si adatta presso la macchina un orologio a secondi.

4.° In oggi questi orologi sono costruiti con un meccanismo che serve a sostenere, e quindi a lasciare andare nel tempo stesso il pendolo e la massa. Ecco come si fanno l'esperienze con questa macchina.

Si lasciano andare contemporaneamente il pendolo dell'orologio e i pesi della macchina, e si notano sull'asta gli spazi percorsi dopo il 1.° secondo, dopo il 2.° il 3.°, e così di seguito, e si osserva che *gli spazi sono proporzionali ai quadrati dei tempi*. Se dopo il 1.° secondo il corpo ha percorso uno spazio di un pollice, dopo il 2.° ne avrà percorso uno di quattro pollici, dopo il 3.° uno di nove, e così di seguito. Dimodochè, se in questo caso porremo il piano nove pollici al di sotto della estremità superiore dell'asta, saremo sicuri che il peso della macchina verrà a posarsi sopra dopo tre minuti secondi; se lo porremo 25 pollici al di sotto della stessa estremità, il piano verrà a posarsi dopo 5 minuti secondi. Ciò significa che il corpo che nel primo secondo ha percorso uno spazio di un pollice, nel secondo ne ha percorso uno di tre pollici, nel terzo uno di cinque, e così di seguito.

Disponiamo ora l'anello dell'asta ad un'altezza tale che arresti la massa n , alla quale si sia data la forma di una verghetta più lunga del diametro dell'anello, dopo un secondo di caduta dall'istante della partenza. Quando n si è fermato, tutto il movimento non si arresta, giacchè le masse m hanno una velocità acquistata, in grazia della quale continuano a muoversi; solamente la gravità non agisce più per cangiare il loro movimento, n essendo stato tolto, è stata tolta la forza acceleratrice, e il moto che succede è un moto uniforme.

Ora, la velocità di questo movimento uniforme (per ciò che dicemmo relativamente al moto uniformemente accelerato), è precisamente quella stessa del movimento accelerato che aveva luogo alla fine del primo secondo; e per trovarla

basta porre il piano c in tal guisa che m venga a percuoterlo esattamente dopo un secondo che n è stato tolto, cioè a dire due secondi dopo la partenza di n . Allora la distanza dell'anello a dal piano c , è lo spazio che m ha percorso in un secondo in virtù del movimento uniforme: ci esprime adunque la velocità di questo movimento e quindi la velocità del movimento accelerato. Si fa un secondo esperimento non togliendo la massa n che dopo due secondi di tempo, e se ne fa un terzo togliendola dopo tre secondi, e si ha così la velocità del movimento accelerato dopo uno, due e tre secondi. Ora se nel primo esperimento m ha percorso uno spazio eguale, p. es. a tre pollici, nel secondo esperimento, cioè a dire dopo due secondi di moto accelerato, m ha percorso uno spazio eguale a sei pollici, e nel terzo uno spazio eguale a nove pollici. Dunque *queste velocità stanno fra loro come 1, 2, 3; dunque crescono proporzionalmente ai tempi.*

È anche da osservarsi che lo spazio percorso dalla massa m con moto uniforme, è sempre doppio di quello percorso nello stesso tempo con moto uniformemente accelerato. Così si vede, che se dopo un secondo di tempo la massa n ha percorso con moto uniformemente accelerato uno spazio di tre pollici, ne percorre la massa m in un secondo con moto uniforme uno di sei, e ne percorre uno di $2\frac{1}{2}$ se la massa n abbandona la massa m , dopo due secondi di moto uniformemente accelerato.

Le leggi del moto, che ci sono date dalla macchina di Atwood, sono adunque le seguenti.

1.° *Gli spazi sono proporzionali ai quadrati dei tempi.*

2.° *Le velocità crescono proporzionalmente ai tempi.*

3.° *La velocità acquistata da un grave che cade è tale da far percorrere al corpo in un dato tempo e con moto uniforme, uno spazio doppio di quello percorso prima nello stesso tempo.*

Queste leggi appartengono tutte al moto uniformemente accelerato, e si accordano con quelle di Galileo per provare che la gravità che agisce alla superficie della terra è una forza acceleratrice costante.

Tutto ciò che si è detto del moto uniformemente accelerato della caduta dei gravi, può applicarsi al moto informemente

ritardato che ha luogo per un corpo spinto con una certa forza in direzione contraria a quella della gravità. Le azioni successive di questa forza agiscono continuamente, onde distruggere la velocità impressa, e questa estinta il corpo ricade come partendo dallo stato di quiete. È così che per inalzare un proiettile ad un'altezza qualunque, conviene comunicargli una velocità eguale a quella che acquisterebbe per l'azione della gravità cadendo dalla stessa altezza. In questo caso le velocità del mobile tanto nel salire che nel cadere sono le stesse ad eguali altezze, e la velocità alla fine della caduta è eguale a quella che dovrà essergli comunicata all'origine del moto ascensionale. Se l'impulso iniziale è inclinato all'orizzonte, per l'azione combinata ad angolo della forza istantanea di proiezione e per quella continua di gravità, s'innalza descrivendo una curva, e cade in seguito descrivendo una curva simile. Anche in questo caso le velocità sono eguali alle stesse altezze, e la curva descritta, facendo astrazione dalla resistenza dell'aria, è una parabola ad asse verticale. In questi ragionamenti abbiamo trascurato la resistenza dell'aria. Accade per questa resistenza che il proiettile giunge ad un'altezza molto minore di quella a cui giungerebbe se la velocità iniziale non fosse diminuita, ed è per la stessa resistenza che perde nello scendere una nuova porzione di forza. Quindi è che una palla di fucile lanciata in alto e poi ricevuta al suo cadere sopra una tavola, non la fora come può fare al suo uscire dal fucile.

Caduta dei gravi per le linee curve. — Si dimostra in meccanica che la velocità acquistata da un corpo cadendo per la lunghezza del piano inclinato, è la stessa di quella che acquista cadendo per l'altezza del piano. S'immagini ora una serie di piani inclinati disposti in modo che l'angolo fatto fra un piano e il successivo differisca di una quantità infinitamente piccola da 180° : la perdita di velocità nel passaggio da piano a piano potrà considerarsi infinitamente piccola, per cui la velocità acquistata dal corpo, cadendo per una serie di piani inclinati contigui, sarà eguale a quella che acquisterebbe cadendo per la verticale che misura l'altezza comune di tutti i

piani. Gli elementi successivi di una curva qualunque continua possono riguardarsi come un complesso di un numero infinito di piani infinitesimi, inclinati fra loro in modo da formare un angolo minore di 180° di una quantità infinitesima. Non vi sarà perciò che una perdita infinitamente piccola di velocità nel passaggio dal primo elemento al secondo, e il corpo acquisterà, cadendo per un arco qualunque, la velocità stessa che acquisterebbe cadendo per l'altezza verticale compresa fra le due estremità dell'arco. Accadrà perciò di un corpo che cade con moto accelerato per una curva, ciò che abbiamo detto dovere accadere* nel caso che egli cada per la verticale, cioè a dire, che la velocità che esso acquista cadendo da una certa altezza, è tale che lo farebbe risalire ad una altezza eguale a quella da cui è caduto. Questo fatto si dimostra anche coll'esperienza. Se si ha un corpo qualunque attaccato ad una estremità di un filo mobile intorno ad un punto fisso, è certo che allontanato dalla sua posizione di equilibrio e poi abbandonato a sè, tende a ristabilirvisi; ma discendendo per un certo arco con moto accelerato, acquista alla fine della caduta una velocità tale, che gli fa oltrepassare la posizione di equilibrio, e l'obbliga a risalire dal lato opposto per un arco di lunghezza eguale a quello da cui è disceso. È su questi principj che è fondata la costruzione del pendolo.

Del Pendolo. — Il pendolo ordinario si compone di una palla pesante sospesa all'estremità di un filo flessibile. Le sue proprietà più fondamentali sono: 1.^o di segnare la direzione verticale o quella della gravità; 2.^o di fare delle oscillazioni piane quando si allontana dalla verticale e che si abbandona a sè stesso senza dargli alcuno impulso. Di fatti se si pone il pendolo in una posizione qualunque $f a$ (Tav. III, Fig. 63) e si lascia cadere liberamente, esso discende fino in l , oltrepassa questo punto, risale dall'altro lato fino in b , descrivendo un arco $l b$ eguale all'arco $l a$; in seguito cade di nuovo, giunge in l , risale in a , e continua così il suo movimento durante lunghissimo tempo. Si può osservare che quando il pendolo discende, la velocità va aumentando fino in l , e che al contra-

rio quando risale, va decrescendo dal punto l fino al punto dove si ferma.

L'angolo $a f l$ si chiama *angolo di allontanamento*. Il movimento di a in b o di b in a , è ciò che chiamasi un'oscillazione; quello di a in l una *semi-oscillazione discendente*, e di l in b una *semi-oscillazione ascendente*. L'ampiezza dell'oscillazione è l'arco $a b$, misurato in gradi, minuti e secondi. La durata di un'oscillazione è il tempo che il pendolo impiega a percorrere quest'arco.

Un pendolo, una volta posto in moto, non cesserebbe mai di oscillare se non vi si opponessero la resistenza dell'aria e gli attriti del punto di sospensione, i quali ogni volta diminuiscono la lunghezza dell'arco che ascende, fino a distruggere completamente il suo movimento.

Il pendolo è uno degli strumenti i più semplici della fisica, e non di meno è uno dei più importanti, perchè serve alla misura esatta del tempo, alla determinazione della figura della terra, a risolvere le più importanti questioni intorno all'attrazione generale della materia, e a mostrarci con materiale evidenza il movimento rotatorio del globo intorno al suo asse. Onde analizzare con facilità il movimento del pendolo, si considererà, come si fa in meccanica, un pendolo ideale, che si distingue col nome di *pendolo semplice*, il quale s'immagina formato da una linea rigida inestendibile e senza peso, fissa ad una delle sue estremità e terminata all'altra con un punto materiale pesante. Data la forma e la densità di tutte le parti che compongono un pendolo ordinario, la meccanica insegna a ridurlo ad un pendolo semplice, e dà la lunghezza del pendolo semplice corrispondente.

Sia M (Tav. III, Fig. 64) il punto materiale pesante unito al filo supposto senza peso e inestendibile. Si supponga spostato dal punto M , in cui il pendolo semplice è in riposo, al punto M' , e si abbandoni: la gravità agendo secondo la retta MP potrà decomporre in due altre forze, una delle quali $M'Q$, diretta secondo la linea di sospensione, sarà distrutta dalla resistenza di questa linea, l'altra $M'n$, diretta secondo la tangente al circolo descritto dall'estremità del pendolo, tenderà a ricondurlo nella sua posizione iniziale. Le intensità di

queste due forze si determineranno prendendo sulla direzione della gravità una linea $M' P$ per rappresentare questa forza, e costruendo il parallelogrammo $M' Q P n$. Ad ogni nuova posizione del punto materiale, una nuova forza tangenziale s'aggiungerà alle precedenti, ed il pendolo scenderà con moto accelerato al punto M di riposo. Questa forza tangenziale, che rappresenta realmente l'impulso dato, varia coll'angolo che fa il pendolo colla verticale, per cui si vede che non è costante la forza acceleratrice di questo movimento. Il punto materiale si muove perciò con moto accelerato in virtù di successivi impulsi che diminuiscono d'intensità. Giunto al punto più basso della corsa, la velocità acquistata nella caduta da M' ad M sarà massima, e gli farà oltrepassare questo punto; ma a misura che salirà, l'azione della gravità, decomponendosi come precedentemente, distruggerà ad ogni istante parte della velocità acquistata nella caduta; e alla fine, questa ridotta a zero, farà di nuovo discendere il corpo, e così seguiranno a riproducersi gli stessi movimenti.

Leggi del movimento del pendolo. — 1.^a La durata delle oscillazioni è indipendente dalla loro ampiezza, allorchè sono di un'ampiezza piccolissima. Si dice che sono *isocrone* per esprimere che si fanno tutte nello stesso tempo. Le oscillazioni di cinque o sei gradi di ampiezza non sono più isocrone; esse cominciano ad avere una durata sensibilmente più grande. Questa legge può dimostrarsi rigorosamente col calcolo sublime. Colla esperienza si può dimostrare approssimativamente.

Per dimostrare questa legge coll'esperienza convien dedurre la durata di un'oscillazione dal contare parecchie centinaia di oscillazioni; le une dell'ampiezza di quattro a cinque gradi, altre un poco più tardi, quando sono ridotte a due o tre gradi, e le ultime verso la fine del movimento, quando non sono più sensibili all'occhio, e che bisogna osservarle con una lente. Ad un tratto fa maraviglia che il pendolo impieghi quasi lo stesso tempo a percorrere un arco di $\frac{1}{10}$ di grado e a percorrerne uno di cinque gradi, che è per conseguenza 50 volte più grande; ma se ne concepisce la ragione osservando che nel secondo caso la gravità gl'imprime molta maggior velo-

cità, perchè agisce più obliquamente. Questa legge fu scoperta da Galileo mentre era ancor giovane, e si racconta che gliene diede occasione il movimento di una lampada della cattedrale di Pisa, posta accidentalmente in oscillazione.

Sopra questa legge è fondata l'applicazione del pendolo agli orologi. La caduta di un grave o il distendersi di una molla sono le forze che imprimono il movimento agli orologi, le quali non produrrebbero, abbandonate a sè stesse, se non un movimento accelerato e di breve durata. Si converte in un movimento regolare per mezzo del pendolo. È a Cristiano Huyghens, detto dagl' Italiani Ugenio, che si deve l'applicazione del pendolo come regolatore degli orologi.

Per bene intendere come agisce questo regolatore, si concepisca primieramente un peso applicato alla prima ruota di un orologio per mezzo di una fune avvolta intorno ad un cilindro. L'azione di questo peso fa girare questa ruota dentata, la quale comunica il moto a tutto il sistema. Ora egli è chiaro che se nulla arrestasse il moto che prendono le ruote dell'orologio, l'azione del peso farebbe girare rapidamente tutto il sistema, finchè la fune si fosse totalmente svolta dal cilindro. Ma se all'ultima ruota *A* (*Tab. III, Fig. 65*), che chiamasi *ruota d'incontro*, s'immagini un pendolo formato del corpo pesante *M* e della verga *L*, alla quale si aggiunga un pezzo *ILK* fatto a guisa di ancora, che faccia corpo con questa verga ed oscilli con essa, allora per ogni volta che il corpo *M* passerà oscillando dall'altra parte della verticale *GN*, la paletta *K* dell'ancora s'innalzerà, e lasciando in libertà il dente che teneva fermo, questo dente scapperà, ed intanto la ruota comincerà a girare. Ma non potrà passare in giro che un sol dente, perciocchè l'altra paletta *I* dell'ancora abbassandosi nello stesso tempo in cui s'innalza il punto *K*, fermerà il dente che incontra, e così di seguito, per modo che non iscapperà che un sol dente per ciascuna oscillazione. Ora il pendolo posto una volta in moto continua a fare le sue oscillazioni in tempi eguali, in guisa che i denti della ruota si distaccano alternativamente ad eguali intervalli, ed il movimento di tutte le ruote ha la più grande regolarità che si possa desiderare. A questo meccanismo si è dato il nome di *scappamento*, perchè

il suo oggetto si è di fare scappare i denti della ruota d'incontro l'uno dopo l'altro e ad intervalli eguali. Egli è chiaro che la pressione che i denti della ruota esercitano contro lo scappamento perpetuerà il movimento del pendolo; questo durerà a muoversi, finchè il peso sarà giunto al basso della corsa o la molla affatto distesa.

2.^a Legge. *Le durate delle oscillazioni stanno fra loro come le radici quadrate delle lunghezze dei pendoli.*

Questa legge si dimostra coll'esperienza. Basta fare oscillare dei pendoli di diverse lunghezze e misurare la durata di una oscillazione per ognuno di essi. Si ottiene facilmente la durata di una oscillazione contando un gran numero di oscillazioni. Se per es. si prendono dei pendoli di cui le lunghezze stiano fra loro come i numeri 1, 4, 9, si osserverà che le durate di una oscillazione di ognuno di essi stanno fra loro come i numeri 1, 2, 3, dimodochè confrontando due pendoli uno dei quali sia quattro volte più lungo dell'altro, si osserverà che il più corto fa un numero doppio di oscillazioni nello stesso tempo; se fosse lungo nove volte più, il più corto ne farebbe un numero triplo, e così di seguito.

3.^a Legge. *La durata delle oscillazioni è affatto indipendente dal peso della palla e dalla natura della sua sostanza.*

Questa legge si dimostra facilmente prendendo differenti globi, di metallo, d'avorio o di altre sostanze, e componendone dei pendoli della stessa lunghezza, che si fanno oscillare insieme. Si vede che i movimenti di tutti questi pendoli restano concordi per lungo tempo; e le differenze che alla fine appaiono dipendono dall'azione ineguale degli attriti e delle resistenze sopra i diversi globi.

Questo fatto, meglio ancora di quello da noi esposto relativamente alla caduta dei corpi nel vuoto, ci prova che la gravità agisce egualmente su tutti i corpi. Di fatti mentre nelle esperienze nel vuoto non possiamo osservare l'azione della gravità che per un intervallo piccolissimo di tempo, possiamo invece col pendolo continuare questa osservazione dell'azione della gravità sopra diversi corpi, per ore intiere. Benchè il

movimento non abbia luogo nel pendolo che per archi assai piccoli, nulladimeno la serie delle oscillazioni fatte durante un tempo lungo, può considerarsi come un movimento progressivo e rettilineo con cui cade costantemente la lente del pendolo.

Onde verificare coll'esperienza le tre leggi da noi esposte, conviene nella costruzione del pendolo, ravvicinarsi il più che sia possibile alla semplicità del pendolo ideale, che abbiamo detto consistere in un filo inestendibile senza peso, alla cui estremità non fissa deve trovarsi una sola molecola pesante. Si ottiene questo risultato, adoperando un filo metallico estremamente sottile, fisso superiormente ad un asse di acciaio tagliato ad angolo acuto, come quello che sopporta l'asta della bilancia, e posato sopra due piani di appoggio perfettamente levigati ed ugualmente duri. All'estremità inferiore si fissa una sfera metallica di una massa assai grande relativamente a quella del filo di sospensione, ovvero una scatola lenticolare di ottone ripiena di piombo, che dicesi *lente*. Un pendolo così costruito oscilla sensibilmente come un pendolo semplice, la cui lunghezza sia eguale alla distanza del centro di gravità della sfera dal punto di sospensione.

Un pendolo ordinario, quello stesso anche di cui abbiamo ora indicata la costruzione, è sempre un pendolo composto. Un filo inflessibile e senza peso, al quale fossero attaccate due molecole m ed n (*Tav. III, Fig. 66*), formerebbe un pendolo composto. In questo apparecchio la velocità di oscillazione si compone infatti delle velocità d'oscillazione che prenderebbero separatamente ciascuna delle piccole masse oscillando liberamente. La molecola m , che non è che alla distanza mf dal punto di sospensione tende ad oscillare più velocemente della molecola n che ne è alla distanza fn ; ma poichè esse sono legate fra loro e costrette a muoversi insieme e a compiere la loro oscillazione nello stesso tempo, la prima è ritardata dalla seconda, e la seconda accelerata dalla prima; quindi ne nasce una velocità intermedia che è quella del pendolo composto. Se in luogo di due molecole sole si supponga una serie di molecole distese lungo l'asta del pendolo, potremo ripetere le considerazioni fatte precedentemente: le prime molecole saranno ritardate per lo sforzo che fanno ad accelerare

le lontane, che oscillerebbero più lentamente di esse; le più lontane sono accelerate per l'impulso che ricevono dalle prime che tendono ad oscillare più velocemente. Vi sarà dunque in ogni pendolo composto un punto che non sarà nè accelerato nè ritardato, e che farà le sue oscillazioni liberamente come se fosse solo e sospeso per una lunghezza eguale alla sua distanza dal punto di sospensione. Questo punto è detto *centro di oscillazione*, e la sua distanza dal punto di sospensione è ciò che dicesi lunghezza del pendolo. Questa lunghezza è infatti eguale a quella del pendolo semplice, che oscillasse colla stessa velocità del pendolo composto.

La posizione del centro di oscillazione dipende dalla forma del corpo che oscilla, se il corpo è omogeneo, e dalla forma e densità delle diverse sue parti, quando sia composto di varie materie. Vedesi da ciò quanto interessi, allorchè il pendolo è destinato alla misura del tempo, di mantenere costante la sua lunghezza. Si applica perciò ai pendoli, al di sotto della loro lente, una massa pesante che si fa scendere e salire onde ritardare o avanzare l'orologio: più comunemente poi si dà questo movimento alla lente stessa abbassandola o innalzandola per mezzo di una vite.

Misura dell'intensità della gravità col pendolo. Le leggi che abbiamo stabilito intorno al movimento del pendolo sono interamente indipendenti dalla intensità della gravità. L'isocronismo delle piccole oscillazioni e il rapporto fra la lunghezza del pendolo e la durata delle sue oscillazioni, non variano quand'anche si supponesse variare l'intensità di questa forza. È il caso stesso delle leggi della caduta dei gravi: si riduca la forza di gravità ad $\frac{1}{10}$, ad $\frac{1}{100}$; i corpi cadranno sempre percorrendo spazi proporzionali ai quadrati dei tempi e acquistando velocità proporzionali ai tempi.

Ma benchè queste leggi non cangino coll'intensità di questa forza, cambierebbe però la durata assoluta d'ogni oscillazione del pendolo. Se la gravità aumentasse d'intensità, i corpi cadrebbero con maggiore velocità, e i pendoli sarebbero più pronti a fare le loro oscillazioni. Il pendolo può dunque servire a determinare l'intensità della gravità, ed è anzi l'istru-mento che ci dà più esattamente questa misura.

Per giungere a questa determinazione, bisogna conoscere qual'è il rapporto che esiste fra la durata di un'oscillazione, la lunghezza del pendolo e l'intensità della gravità. Sia l la lunghezza di un pendolo qualunque, espressa in metri. Sia T la durata di un'oscillazione di questo pendolo, espressa in secondi. Sia π il rapporto approssimativo della circonferenza al diametro, il cui valore è come sappiamo $\pi = 3,1415926$. Infine sia g l'intensità della gravità, cioè a dire il numero dei metri che esprime la velocità acquistata da un corpo dopo un secondo di tempo di caduta libera. La durata di un'oscillazione di questo pendolo è espressa dalla formola, che ci dà la meccanica

$$T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

da cui si ha

$$g = \frac{\pi^2 l}{T^2}$$

cioè a dire che l'intensità della gravità è eguale al quadrato del rapporto approssimativo della circonferenza al diametro, moltiplicato per la lunghezza del pendolo; e diviso pel quadrato del tempo di una oscillazione.

Per avere l'intensità della gravità in un dato luogo, basterà dunque di fare oscillare un pendolo, di misurarne la lunghezza per avere l , osservare la durata di un'oscillazione per avere T , e di fare in seguito i calcoli indicati dalla formola. Questa formola è quella che conviene al pendolo semplice; e perchè non è dato impiegare che dei pendoli composti, bisogna prima ridur questi in pendoli semplici. Borda è stato il primo fisico, che abbia dato un metodo esatto per fare questa riduzione, ed è stato quindi il primo che abbia determinato il valore di g , che trovò essere per Parigi eguale a 9.^m 8088. Questo numero significa che un corpo che cade nel vuoto per un secondo di tempo, acquista tanta velocità da percorrere, cessando di agire la gravità, uno spazio di 9.^m 8088 in tutti i secondi seguenti. Ciò può esprimersi ancora dicendo, che un corpo che si muove nel vuoto, partendo dal riposo, percorre in un secondo uno spazio che è di 4.^m 9044; giacchè abbiamo visto che la velocità che acquista un corpo per l'azione della gravità in un dato tempo, è tale da fargli percorrere uno spazio doppio, nello stesso tempo, con moto uniforme.

Conosciuta così l'intensità della gravità per un dato luogo, è facile di vedere come si possa coll'esperienza conoscere se e quanto varia in altri luoghi. Di fatti si ricava dalla formula indicata, che *le intensità della gravità sono in ragione inversa del quadrato del tempo della durata di un'oscillazione*; che cioè se chiameremo g e g' le intensità della gravità in due circostanze diverse, e T e T' le durate delle oscillazioni nelle medesime circostanze, avremo

$$g : g' :: T'^2 : T^2$$

Perciò basterà di avere un pendolo di forma e di lunghezza invariabile, e determinare il numero delle oscillazioni fatte nello stesso tempo in due luoghi diversi. Se le intensità della gravità in questi due luoghi saranno diverse, dovranno esse stare fra loro in ragione inversa dei quadrati dei tempi impiegati a fare un'oscillazione nei due diversi luoghi. Così se in un punto A della terra, la intensità della gravità sarà doppia che in un punto B della medesima, converrà che uno stesso pendolo faccia in A un'oscillazione in un tempo quattro volte più corto che in B , ovvero quattro oscillazioni nello stesso tempo che ne compie una in B .

In un luogo ove la gravità è più intensa, per ottenere da un pendolo lo stesso numero di oscillazioni in un dato tempo che in un altro luogo ove la gravità è meno intensa, converrà fare il pendolo più lungo; e si deduce dalle formole date che *le lunghezze dei pendoli devono essere proporzionali alle intensità della gravità*.

Il risultato ottenuto determinando l'intensità della gravità per diversi punti della superficie della terra, è assai importante. Si è trovato che dal polo all'equatore l'intensità della gravità diminuisce. Nel 1672 Richer essendo giunto alla Cajenna, che è distante 100 leghe dall'equatore, scoprì questo fatto. Egli osservò che il pendolo che batteva i secondi a Parigi, doveva accorciarsi di una linea e $\frac{1}{2}$, affinchè ivi pure facesse una vibrazione ad ogni minuto secondo. Questa esperienza fu in appresso confermata da molte altre, per cui si concluse che quanto più si va verso l'equatore, tanto più si deve accorciare il pendolo semplice affinchè continui a battere i secondi.

La diminuzione della gravità dal polo all'equatore è dovuta:

1.° Allo schiacciamento della terra ai poli;

2.° Alla forza centrifuga.

L'influenza dello schiacciamento della terra è evidente, perchè i corpi che sono all'equatore sono più lontani dal centro d'attrazione della sferoide terrestre, e quindi sono meno attirati. Per concepire l'effetto della seconda causa bisogna ricordarsi che per ogni punto di una sfera che gira intorno ad un asse, la forza centrifuga è proporzionale alla sua distanza dall'asse di rotazione. Perciò essa è al suo massimo grado all'equatore; e siccome detta forza tende ad allontanare tutti i corpi dal centro della terra, è direttamente in opposizione con la forza di gravità che tende invece ad avvicinarli al suo centro. Presso i poli la gravità non trova che un tenuissimo ostacolo nella forza centrifuga, mentre che avvicinandosi all'equatore quest'ostacolo va sempre aumentando.

Applicazione del pendolo alla dimostrazione sperimentale della rotazione della terra. — Il pendolo, questo mirabile strumento che ci ha rivelato tante importanti verità fisiche, serve anche a dimostrare nel modo il più evidente la rotazione del nostro globo intorno al suo asse. Quest'ultima applicazione del pendolo è stata recentemente trovata dal fisico francese Foucault.

Egli ha osservato che la direzione delle oscillazioni del pendolo non riman fissa rispetto agli oggetti terrestri, ma continuamente devia, talchè se prima andava dal Nord al Sud, dopo alquante ore oscillerà tra Est ed Ovest, e potrà anche percorrere tutta la rosa dei venti. La deviazione, dalla parte di mezzodi, si fa secondo il moto apparente del sole, cioè da Est ad Ovest.

Per concepire come ciò dipenda dal moto diurno della terra, si deve prima di tutto stabilire, che *la direzione dell'oscillazione d'un pendolo, o in altri termini, il piano di oscillazione di un pendolo, è invariabile nello spazio assoluto.* Ciò dipende dall'inerzia della materia, per la quale questa conserva la direzione una volta ricevuta, finchè altra forza non sopraggiunga.

L'invariabilità della direzione del pendolo sussiste ancora se il punto di sospensione vien condotto in giro con moto comune al pendolo e al corpo che lo sostiene: mentre quello muta il luogo assoluto, l'oscillazione resta sempre parallela a sè stessa. Si può ciò dimostrare con varie esperienze. Sopra una tavola rotonda, alta a girare in piano sul suo piede, pongasi un piccolo cavalletto, cui sia sospeso un pendolo: giri la tavola lentamente e senza scosse: si urti il pendolo, e si noti verso qual punto della stanza esso si dirige: si vedrà questa direzione restare invariabile rispetto alla stanza, benchè si muova il sostegno del pendolo: ciò accade anche quando il punto di sospensione non è concentrico alla tavola.

Si può anche far uso di un semplice apparecchio che dimostra lo stesso fatto con forse maggiore evidenza. Consiste in un piano PB (*Tav. III, Fig. 67*) capace di ruotare orizzontalmente sopra una tavola, intorno al punto fisso P , e sul medesimo stannuo sospesi due pendoli V e V' formati di masse pesanti, sospesi a dei fili flessibili, uno dei quali in tempo di quiete corrisponde alla verticale AV , che si confonde coll'asse di rotazione, l'altro alla verticale $A'V'$, situata fuori di quest'asse, ma nel piano della retta PB . Se si fanno oscillare i due pendoli nella medesima direzione PC , osserveremo che fino a quando il piano PB resterà fermo, i piani di oscillazione de' due pendoli non cangeranno; tratteranno cioè costantemente la retta PB ; ma se muoveremo il piano senza urti e senza scosse facendolo ruotare intorno al punto P , vedremo facilmente che le oscillazioni non si faranno più nello stesso piano, bensì in direzioni sempre parallele, cioè a dire che se in questo spostamento PB è passato in PB' , il pendolo in P marcherà sempre la direzione PC , mentre l'altro che dalla stazione B è venuto nell'altra B' segnerà la direzione $B'C$ parallela alla prima. Si osserverebbe lo stesso in qualunque altra posizione di PB .

Stabilita così l'invariabilità della direzione dell'oscillazione del pendolo nello spazio assoluto, è chiaro che se vedremo la linea d'oscillazione del pendolo traslocarsi rispetto agli oggetti terrestri, dovremo concludere che tali oggetti girano in un colla terra. Questo è il nostro caso: il pendolo che cominciando ad

oscillare corrisponde a certi punti dell'orizzonte, dopo poco tempo non vi corrisponde più, e quindi seguita a deviare: da ciò si deduce che la terra si è mossa e gira attorno a sè stessa. Determinare il tempo in cui il piano d'oscillazione compirà un intero giro, è problema alquanto complicato, perchè la figura della terra non è piana, ma sferoidale. Suppongasì un osservatore nel polo ed un pendolo che oscilli in una linea diretta verso una data stella, oscillerà sempre verso quella; ma se la terra gira sotto il pendolo, essa linea muterà posto rispetto agli oggetti terrestri; e all'osservatore ignaro del proprio muoversi, parrà che il pendolo faccia un giro, mentre la terra fa una rivoluzione. Vedesi adunque chiaramente che sotto il polo il pendolo compirebbe il suo giro in 24 ore. Non così all'equatore. Poniamo un globo nella posizione della sfera retta, cioè in modo che i poli coincidano coll'orizzonte, e segniamo due cerchi paralleli e assai vicini di qua e di là dell'equatore; le porzioni dei meridiani compresi fra i due cerchi formeranno una zona di linee sensibilmente parallele fra loro, come sarebbero delle linee trasversali disegnate sul cerchio d'una ruota: se si situa un pendolo su questa zona mentre la sfera gira, quelle linee rimarranno tutte egualmente inclinate alla direzione del medesimo, nonostante il muoversi della sfera: così all'equatore, se una volta il pendolo coincide con una linea orizzontale resterà sempre parallelo a questa, benchè la terra giri. Noi siamo lungi dall'equatore e dai poli, perciò qui avremo un effetto medio tra il moto dei poli e la quiete dell'equatore.

Per trovare l'arco che deve descrivere il pendolo in un giorno, si ricorre alle seguenti considerazioni. Sia *S* (Tav. III, Fig. 68) una sfera munita del suo asse di rivoluzione *PP'*, e si conduca una retta *PB* tangente a questa sfera in un punto intermedio fra il polo e l'equatore. Supponiamo che la sfera compia la sua rivoluzione intorno all'asse nello spazio di 24 ore, trascinando seco la tangente *PB*; è chiaro che questa descriverà un cono, il quale sviluppato in un piano sarà un settore di circolo, che fra i suoi raggi estremi comprenderà l'arco *B, B', B'', ... B''*, (Tav. III, Fig. 69) ed in *PB, PB', PB''* avremo le successive posizioni della linea *PB*. Ora se noi sup-

poniamo che nel punto B della sfera fosse posto un pendolo, il quale al principio della sua rotazione oscillasse nella direzione PB , ci sarà evidente, per ciò che abbiamo premesso intorno all'invariabilità della direzione delle sue oscillazioni nello spazio assoluto, che nelle successive posizioni della tangente PB , il nostro pendolo avrà le direzioni $C'A'$, $C''A''$... ec., e nell'ultima $P''B''$, cioè a dire dopo 24 ore, che a cono chiuso corrisponde colla prima PB , sarà $C''A''$ parallela sempre a CA . Nell'intera rivoluzione della sfera, il piano di oscillazione del pendolo avrà descritto un arco $AC''A''$ equivalente a $B''B''$... B ; avrà cioè fatto un angolo colla tangente PB eguale all'angolo del cono sviluppato.

Riferendo ora questo ragionamento alla terra, osserviamo che la linea PB altro non è che la linea meridiana del punto B , disegnata nel piano dell'orizzonte, prolungata fino all'incontro dell'asse del mondo; perciò egli è chiaro che per aver l'angolo che in un giorno descrive il pendolo in un dato punto del globo compreso fra il polo e l'equatore, converrà misurare l'arco compreso fra i raggi estremi del settore di circolo, che si ha sviluppando in piano il cono che la linea meridiana del luogo designata sul piano d'orizzonte, supposta prolungata fino all'incontro dell'asse del mondo, descrive in 24 ore, supposto che al principio del moto essa meridiana coincidesse colla direzione del pendolo (1).

(1) Tale è il valore geometrico dell'angolo di deviazione dal piano del pendolo nelle 24 ore, ed è facile dopo ciò assegnarne il valore numerico, stabilire cioè la formola algebrica che serve a calcolarlo per ogni latitudine. Infatti sappiamo che l'arco BB'' ... B'' del cono sviluppato sia all'intera circonferenza o a quattro reitti, come il raggio BD della base del cono (Tav. III, Fig. 68), che è il parallelo, sia all'apotema PB . Abbiamo cioè, indicando con X la deviazione del pendolo corrispondente a un certo numero di ore, e con n l'arco di parallelo percorso in quelle date ore.

$$X : n = BD : PB$$

Ma abbiamo

$$1 : \text{sen } P = PB : BD, \quad \text{e finalmente}$$

$$\text{sen } P = \text{sen } BCE = \text{sen } L,$$

avendo indicato con L la latitudine del luogo, perciò

$$X : n = \text{sen } L : 1$$

quindi

$$X = n. \text{sen } L.$$

Si trova così col calcolo che alla latitudine di Roma la deviazione del pendolo dalla prima direzione dev'essere di circa 10° per ogni ora, ond'essa deve compiere l'intero giro in 36 ore circa, o più esattamente in 35 ore 50' e 26". A Londra dev'essere di circa 12° l'ora, e l'intero giro vi si deve compiere in 30 ore.

L'esperienza ha confermato mirabilmente i risultati della teorica, sebbene l'angolo di deviazione sia sempre stato in effetto un poco minore; lo che deve attribuirsi alle inevitabili cagioni perturbatrici, e specialmente alla resistenza dell'aria. Affinchè l'esperienza riesca è necessario che il pendolo oscilli il più liberamente possibile; conviene perciò che il punto di sospensione del pendolo sia fissato con una pressione eguale in tutti i versi, affinchè non vi sia per questo lato nessuna tendenza a modificare la direzione del movimento oscillatorio; che il grave abbia un peso considerevole e sia sferico, come p. es. un globo di piombo o di ferro, affinchè incontri da pertutto la medesima resistenza nel mezzo ambiente; ed in fine che il filo sia metallico, cilindrico, lungo e sottile. Il pendolo deve poi esser posto in vibrazione bruciando uno spago che lo tenga prima di sperimentare lontano 35 o 40° dalla verticale, e ciò a fine di evitare qualunque spinta accidentale diversa dalla gravità e dalla rotazione del globo. Per verificare la deviazione basta avvitare una punta sotto il globo oscillante e disporre sotto la palla un cerchio graduato, il cui centro corrisponda al punto di sospensione, e che abbia tutto intorno un orlo di finissima cenere cui si dia la forma di argine acutissimo. La sommità di questo vien toccata e tagliata dall'ago posto sotto al pendolo, allorquando questo vi passa al di sopra, e la breccia che vi si forma dopo alquanto tempo indica la deviazione subita dal pendolo.

Il fenomeno descritto non era sfuggito alla perspicacia del Viviani, discepolo del Galileo, e degli altri accademici del Cimento, ma sembra che non ne scorgessero troppo chiara la cagione.

Dell'Attrazione molecolare.

Dicesi *attrazione molecolare*, la forza che sollecita le molecole di uno stesso corpo, o quelle di due corpi vicinissimi, a restare aderenti fra loro. Senza questa attrazione, le molecole dei corpi tenderebbero sempre a cedere alla forza di gravità e a disgiungersi. L'attrazione molecolare non deve confondersi coll'*attrazione di affinità o attrazione chimica*. Questa è la causa delle combinazioni dei corpi eterogenei, e non si esercita che nell'intimo contatto delle ultime particelle dei corpi, e il suo effetto non può esser distrutto da mezzi meccanici, ma bensì da agenti fisici, come il calore, l'elettricità, la luce. Ma lo studio de' fenomeni dell'affinità spetta alla chimica.

Non si conoscono le leggi alle quali l'attrazione molecolare è soggetta; si sa soltanto che questa forza non si manifesta se non quando le molecole sono a picciolissime distanze fra di loro, e che allora la sua intensità dipende dalla natura delle molecole, e che aumenta con grande rapidità, a misura che la distanza diminuisce.

Si distingue più particolarmente col nome di *Coesione* l'attrazione molecolare che riunisce le molecole omogenee di uno stesso corpo. Gli esempj di coesione ci cadono di continuo sotto gli occhi; ogni corpo, per la sua stessa permanenza, è un esempio di questo genere di attrazione. I suoi effetti variano d'intensità a seconda dei corpi. I solidi sono sempre, più o meno duri o tenaci; altri, come i liquidi, lo sono molto meno. Pertanto è la coesione che mantiene in una goccia di liquido posta su di un piano, la sua forma più o meno sferica, e che impedisce che le sue molecole cedendo all'azione della gravità, non si distendano sul piano in uno strato infinitamente sottile. Nei soli gas non si scorge alcuna traccia di coesione.

Gli effetti dell'attrazione molecolare non si manifestano soltanto fra le particelle di uno stesso corpo, ma si manifestano ancora fra quelle di due corpi diversi, le cui superfici trovansi a contatto. Se la superficie dei corpi fosse perfettamente

levigata ed eguale, allorquando si sovrapponebbero due superfici piane, la forza con cui aderirebbero sarebbe difficile a vincersi. L'attrazione molecolare che si produce fra le particelle di due superfici diverse a contatto, prende comunemente il nome di *adesione*. Essa può manifestarsi fra solido e solido, fra solido e liquido, e fra liquido e liquido.

Si può rendere evidente l'adesione fra le molecole solide della stessa natura colle seguenti esperienze: se si prendono due palle di piombo, e dopo aver tolto a ciascuna di esse un segmento con un istrumento tagliente, si riuniscono colle faccie piane che si sono prodotte, facendole strisciare in modo da scacciare l'aria che potrebbe interporci, le due palle esigono una forza di varj chilogrammi per essere separate. Può ripetersi la stessa esperienza con altre superfici, sia che si operi sopra altri metalli, sul marmo ec. Clement ha costatatato il fatto che due cristalli ben levigati applicati l'uno sull'altro contraggono col tempo un'aderenza tale che riesce impossibile separarli.

L'adesione del ferro al sevo presenta un esempio rimarchevole di questo genere di attrazione. Pictet, applicò l'uno contro l'altro, per le loro basi, due cilindri di ferro di due pollici di diametro ciascuno, interponendovi uno strato di sevo della maggior possibile sottigliezza. I due cilindri aderirono con tanta forza che furono necessarie 1470 libbre francesi per separarli, essendo il termometro a zero.

Quando s'immerge un corpo nell'acqua, nello spirito di vino, nell'olio, o in qualunque altro liquido, noi lo vediamo uscire ordinariamente bagnato, in grazia dell'adesione nata fra le molecole superficiali del solido e le più prossime del liquido. L'attrazione molecolare fra liquidi e solidi, e quindi fra liquidi e liquidi può anche essere mostrata con un'apparecchio assai semplice. Consiste in una lastra di vetro sospesa al piatto inferiore di una bilancia, che tiensi in equilibrio con alcuni pesi posti nell'altro piatto. Se si fa toccare la faccia inferiore di questa lastra di vetro con dell'acqua situata in un vaso sottoposto, si osserva che per distaccarla è necessario aggiungere sull'altro piatto della bilancia un peso assai considerevole. La lastra, allorchè si distacca, trovasi coperta

di uno strato di acqua, onde l'adesione che si è vinta era tra acqua ed acqua.

Vi sono dei solidi che hanno adesione per certi liquidi e per altri no: così per es. il vetro si lascia bagnare dall'acqua e non dal mercurio; il ferro e l'acciajo non hanno nessuna aderenza pel mercurio, mentre l'oro e l'argento non possono immergersi in questo liquido senza poi estrarli intieramente ricoperti dal medesimo. Quando manca l'adesione di un liquido per un solido, non bisogna credere che in questo caso non si spieghi la forza di attrazione molecolare fra i due corpi, o che vi sia fra i medesimi repulsione. L'attrazione molecolare non può giammai mancare di agire; ma poichè è maggiore la forza di coesione delle molecole del liquido, di quella di adesione delle medesime pel solido, così la prima vince la seconda e il fenomeno di adesione non si manifesta.

L'adesione fra liquido e liquido manifestasi ancora nel porre a contatto delle gocciollette di mercurio, le quali tosto confondonsi per formare un sol globolo. Quando esiste adesione fra due liquidi di natura diversa, essi sono capaci di mescolarsi intimamente, come segue tra l'acqua e l'alcoole; se poi non esiste adesione fra di essi, quantunque si mescolino lungamente, sempre verranno a separarsi, come si osserva fra l'acqua e l'olio.

Anche i gas, benchè composti di particelle che si respingono mutuamente, manifestano non di meno fra loro una singolare attrazione molecolare. Se si riuniscono due palloni di vetro, per mezzo di un tubo che ne faccia comunicare l'interno, e sia l'uno ripieno di gas idrogeno, il più leggiero di tutti i gas, e l'altro di gas acido carbonico, che è invece uno dei più pesanti, e si dispone l'apparecchio in guisa che il pallone contenente l'idrogeno sia in alto, e quello contenente l'acido carbonico sia in basso, si osserva che dopo un certo tempo i due gas si sono mescolati intimamente, e in ciascuno dei palloni vi ha lo stesso miscuglio.

Ma i gas hanno anche una certa adesione pei solidi e pei liquidi. Quasi tutti i corpi solidi di natura porosa hanno la facoltà di assorbire una più o meno grande quantità di un gas qualunque. Il carbone possiede particolarmente questa

proprietà ad un alto grado. Un frammento di carbone arroventato e quindi raffreddato sotto il mercurio, è il più atto a tale assorbimento. Si pone sotto una campana piena di mercurio, e quindi si fa passare nella medesima una quantità conosciuta del gas che vuolsi assorbire, e si abbandona l'esperienza a sè stessa durante 24 ore; dopo di che si misura il volume del gas assorbito. Il De-Saussure determinò che una misura di carbone di bossolo assorbe:

90	misure di gas ammoniac
85	» gas acido idroclorico
65	» gas acido solforoso
35	» idrogeno solforato
35	» gas acido carbonico
9,25	» ossigeno
7,50	» azoto
1,75	» idrogeno.

Tutti questi gas sono assorbiti con un debole svolgimento di calore, e possono tutti essere scacciati dal carbone che li ha assorbiti inalzandone la temperatura a circa 120°.

Per mostrare l'adesione che v'è fra i gas ed i liquidi, basta porre sotto la campana della macchina pneumatica, un vaso pieno di acqua, e fare il vuoto. Tosto vedesi un numero grandissimo di bolle d'aria formarsi sotto il liquido, tappezzare tutte le pareti del vaso e ingrossare sempre più a misura che la pressione diminuisce. Se nell'acqua s'immergono delle sottili lamine metalliche, come p. es. di oro battuto, il fenomeno è anche più rimarchevole, imperciocchè le bolle d'aria che formansi alla loro superficie, sia per la loro aderenza coll'acqua come anche per la lamina, più difficilmente si svolgono, e divengono sotto il liquido come tanti palloncini che si fanno salire e discendere secondo il grado di pressione.

Fenomeni di capillarità.

Le attrazioni molècolari che abbiamo esaminato, non solo fra i solidi ed i liquidi, ma anche fra i liquidi medesimi, danno luogo a fenomeni notevolissimi, detti *fenomeni capillari*,

perchè sono più appariscenti in tubi finissimi, di un diametro paragonabile a quello di un capello. In questi tubi non si verifica il fatto, che è conseguenza delle leggi di equilibrio dei liquidi, dell'inalzarsi del liquido nel loro interno allo stesso livello che il liquido esterno. Se s'immerge un tubo di vetro assai sottile nell'interno di una massa di acqua, si vede questo liquido sollevarsi molto al di sopra del livello del liquido in cui è immerso; se invece s'immerge nel mercurio, si vede questo abbassarsi al di sotto (*Tav. III, Fig. 70 e 71*).

L'attrazione capillare o capillarità non agisce solamente per inalzare o deprimere le piccole colonne liquide nell'interno dei tubi; essa esercitasi incessantemente nel contatto dei liquidi fra loro e dei solidi fra loro, e in generale nel contatto delle particelle le più tenui della materia ponderabile. Ecco le principali leggi di questi fenomeni.

Le lunghezze delle colonne sollevate o depresse sono in ragione inversa dei diametri dei tubi. È facile riconoscere coll'esperienza che in generale le differenze di livello sono tanto più grandi quanto sono più piccoli i diametri dei tubi. Basta costruire dei piccoli tubi ad U, come quelli della *Tav. III, Fig. 72*, che abbiano uno dei rami di un diametro doppio dell'altro, ed empirne uno di acqua e l'altro di mercurio. Nel primo si vedrà la colonna dell'acqua del ramo più sottile avere un'altezza doppia di quella dell'altro; nel ramo sottile del secondo invece avrà la metà di altezza. Non di meno Gay-Lussac ha stabilito questa legge fondamentale su delle esperienze molto più esatte.

Ogni qualvolta v'è ascensione in un tubo capillare assai stretto, la colonna liquida è terminata da una superficie concava, o per meglio dire da una semisfera vuota dello stesso diametro del tubo, la quale dicesi *Menisco concavo* (*Tav. III, Fig. 73*); al contrario quando v'è depressione la sommità della colonna prende la forma di un *Menisco convesso* (*Tav. III, Fig. 74*). Queste forme sono essenzialmente legate all'ascensione e alla depressione, giacchè se si spalma con un corpo grasso la superficie interna di un tubo di vetro, e che se ne immerge l'estremità nell'acqua colorata, si osserva che non

solamente l'acqua cessa d'inalzarsi al di sopra del livello, ma che resta depressa in questo tubo spalmato di grasso, e che nello stesso tempo la sommità della colonna prende la forma di menisco convesso, come fa il mercurio nei tubi ordinarij. Risulta da questa osservazione che le differenze di livello dipendono dalla forma del menisco, e quindi che tutte le cause accidentali che potrebbero impedire a questo di prendere la forma esatta che deve avere, impedirebbero anche per la stessa ragione al liquido di giungere all'altezza precisa nella quale deve trovare la stabilità del suo equilibrio.

Altezze differenti alle quali può arrestarsi lo stesso liquido nello stesso tubo. Quando un tubo ha servito ad una esperienza, se si ritira dal liquido con precauzione, si osserva che nel suo interno resta sospesa una piccola colonna di liquido. Questa colonna è sempre più grande di quella che si era sollevata durante la esperienza; per esempio *ab* (Tav. III, Fig. 75) essendo la colonna sollevata al di sopra del livello, mentre il tubo è immerso, la colonna che rimarrà sospesa quando sarà fuori del liquido potrà essere *cd* od anche *ef*. Questa differenza dipende dalla goccia che resta all'estremità inferiore del tubo, e che forma un menisco più o meno convesso. Infatti su delle pareti molto grosse sulle quali la goccia si allarga molto, questo eccesso di sollevamento è sempre minore; al contrario nei tubi a pareti sottilissime il menisco convesso della goccia, essendo presso a poco eguale al menisco concavo della sommità della colonna si osserva un eccesso di sollevamento quasi eguale al sollevamento stesso, cioè a dire che *ef* è doppio di *ab*.

I tubi ricurvi ad *u* presentano dei fenomeni analoghi, ed hanno anche il vantaggio di essere più comodi per queste esperienze. Nel tubo *s* (Tav. III, Fig. 76) il diametro del quale è uniforme, le sommità delle due colonne sono alla stessa altezza, fintantochè il liquido non raggiunge la sommità del ramo più corto; ma appena vi è giunto si può far colare del liquido nel ramo lungo, e produrre così un eccesso di altezza sempre crescente. A misura che il livello si solleva, il menisco del ramo corto perde a poco a poco la sua forma,

la sua concavità diminuisce, e tende a trasformarsi in superficie piana; e se si osserva il fenomeno con attenzione, è facile di riconoscere che nell'istante che ha raggiunto questo limite la differenza del livello *ab* è precisamente l'altezza alla quale s'alza il liquido in un tubo diritto dello stesso diametro del tubo ricurvo. Si può continuare a versare del liquido nel ramo lungo; allora la superficie piana che limita la colonna all'estremità del ramo corto diviene sempre più convessa, ed il livello può così salire fino ad un'altezza *cd* doppia di *ab*: in quel momento il menisco forma una semisfera; e se si versa ancora del liquido nell'altro ramo, la sua convessità scoppia, e la colonna ricade più o meno, secondo la più o meno grande convessità della goccia che resta. Questi fenomeni possono essere prodotti in senso inverso, mettendo prima nel lungo ramo del tubo ad *u* tutta la colonna che può essere sostenuta, e facendo uscire del liquido a poco a poco dalla sommità del ramo corto.

Tubi concentrici. Concepiamo un tubo che abbia per esempio 10 millimetri di diametro interno, nel quale sia posto un cilindro di vetro di 9 millimetri di diametro, in modo che il loro asse sia comune, e che resti intorno al cilindro uno spazio anulare di $\frac{1}{2}$ millimetro di grossezza. I fenomeni capillari si svilupperanno in questo spazio; e si trova coll'esperienza che la differenza di livello è la stessa di quella che sarebbe in un tubo di mezzo millimetro di raggio. Questo risultato essendo generale può esprimersi così: in uno spazio anulare di una grossezza qualunque, l'ascensione o la depressione è la stessa che in un tubo di cui il diametro fosse il doppio di questa grossezza.

Quando il cilindro interno è esso pure un tubo, i fenomeni si producono separatamente in questo tubo e nello spazio anulare, come se ciascuno di essi fosse solo. Così il diametro del tubo essendo precisamente doppio della grossezza anulare, le sommità delle due colonne sono allo stesso livello; se il tubo è più fine, la sommità della sua colonna è più alta se ha luogo un'ascensione, è più bassa se accade una depressione; accade il contrario quando il tubo è più largo. In quest'ultimo caso, se si versa del liquido fino a che il menisco anulare divenga convesso, la depressione si cangia subitamente in ascensione.

Lamine parallele. Lo spazio compreso fra due lamine parallele non è in certo modo che il limite dello spazio anulare di cui abbiamo parlato; dunque le altezze delle colonne sollevate o depresse devono seguire la stessa legge. È infatti ciò che l'esperienza dimostra; qualunque sia la distanza delle due lamine esse producono lo stesso effetto di un tubo cilindrico il cui diametro sia doppio di questa distanza.

Lamine inclinate. La Fig. 77, Tav. III, rappresenta due lamine inclinate, che incontransi secondo una linea verticale; esse sono unite per mezzo di due cerniere c , c' , e possono essere allontanate più o meno. Quando s'immergono nell'acqua, il liquido deve salire a delle altezze ineguali in a e in b , perchè le distanze corrispondenti delle lamine sono esse stesse ineguali, e le altezze sono fra le lamine, come nei tubi, in ragione inversa delle distanze. La sommità della colonna forma un'iperbola equilatera, di cui gli asintoti sono, da un lato la comune intersezione delle lamine, e dall'altro il livello del liquido nel quale sono immerse. La Figura 78 rappresenta due lamine che sono nel modo stesso inclinate l'una sull'altra, ma esse tagliansi lungo una linea orizzontale, ed il piano geometrico che dividerebbe il loro angolo in due parti eguali può essere esso stesso orizzontale o più o meno obliquo all'orizzonte. Quando si pone fra queste lamine una goccia di acqua che le tocchi ambedue, si vede che nell'istante questa goccia si fa concava alle sue due estremità, ma le due superfici concave hanno una diversa curvatura; il raggio di curvatura del punto n è più piccolo che nel punto n' , e la goccia si muove avvicinandosi alla linea d'incontro delle due lastre. La sua velocità aumenta o diminuisce, secondo che l'angolo è più grande o più piccolo.

Tubi Conici. Gli stessi fenomeni che avvengono fra due lamine inclinate si riproducono nei tubi conici, colle stesse circostanze e per le stesse cause. La piccola colonna n , n' (Tav. III, Fig. 78) si precipita verso la sommità del cono o verso la sua base, secondo che è terminata da due menischi concavi o convessi; e nei due casi si può ritenere in una posizione fissa, inclinando convenientemente l'asse del cono in un senso o nell'altro.

Azione delle superfici sui liquidi. Ciò che precede ci mostra chiaramente che i solidi e i liquidi non possono toccarsi senza che la superficie mobile del liquido provi, nei punti di contatto, una deformazione più o meno rimarchevole. Le inflessioni della curvatura dipendono dalla forma dei corpi. V'ha sempre ascensione del liquido quando bagna la superficie, e depressione quando non la bagna. Le superfici concave e convesse che si formano nei tubi dipendono appunto dal sollevarsi o dal deprimersi dei liquidi presso le loro superfici. Le depressioni dei liquidi presso certe superfici solide, in grazia della capillarità, ci spiegano come avvenga che talvolta dei corpi assai più pesanti dell'acqua possano galleggiare su questo liquido. Il liquido deprimentosi sotto ai medesimi, vi lascia uno spazio pieno di aria, dimodochè acquistando essi un volume assai maggiore e un peso assai minore, divengono atti a sostenersi sulla superficie del liquido. Così accade a un ago da cucire, se è leggermente spalmato di grasso. Mentre pel proprio peso dovrebbe affondare nell'acqua, vi galleggia invece, a motivo della depressione che si genera in questo liquido al di sotto di esso, per la niuna adesione tra la sua superficie e l'acqua. Quegl' insetti che camminano, o, per meglio dire, scorrono sulla superficie delle acque, sarebbero sommersi se un particolare trasudamento non impedisse che le loro zampe fossero bagnate dall'acqua.

Attrazioni e Repulsioni prodotte dalla capillarità. I corpi che sono immersi nei liquidi, e che galleggiano alla loro superficie presentano dei fenomeni d'attrazione e di repulsione assai rimarchevoli. Due palle di sughero posate sull'acqua e bagnate da questo liquido non esercitano alcuna azione l'una sull'altra quando sono ad una distanza un po' grande; ma quando si avvicinano ad una distauza capillare; cioè a dire a una distanza assai piccola perchè le superfici del liquido sollevato intorno ad esse se tocchino o s'incrocino, allora ha luogo un'attrazione molto viva. Due palle che non si bagnano, come due palle di cera galleggianti sull'acqua, o di ferro sul mercurio, esercitano pure un'attrazione nelle stesse circostanze. Infine due palle, una delle quali si bagna e l'altra no, si respingono sempre quando giungono a una distanza

capillare. Le lamine verticali presentano dei fenomeni analoghi. Si era creduto in principio che questi movimenti risultassero da un' azione diretta dalla materia, ma è evidente che dipendono dalle curvature delle superfici, poichè gli stessi corpi che si fuggono o che si attraggono sull' acqua, non esercitano alcun' azione a distanza eguale nel vuoto o nell' aria o in qualunque altro mezzo che li circonda da ogni lato. Queste alterazioni e repulsioni ci spiegano come avvenga che dei corpicciattoli galleggianti sull' acqua contenuta in un vaso, vanno talora a riunirsi tutti intorno alle pareti del medesimo, e talora invece riuniscono nel centro. Nel primo caso tanto i corpi leggieri, come il vaso sono bagnati, ovvero non sono bagnati dall' acqua; nel secondo caso, mentre gli uni sono bagnati, l' altro non l' è, e viceversa.

Effetti diversi della Capillarità. La capillarità ha una parte importantissima in tutti i fenomeni relativi all' imbibizione e alla disseccazione, sia nei corpi inorganici che negli organici. le pietre le più compatte s' imbevono d' acqua, sia nel fondo dei fiumi, che nei terreni umidi, giacchè perdono di peso allorquando si lasciano in un' aria sufficientemente calda e secca. I terreni coltivabili, s' imbevono e si disseccano con più o meno facilità a seconda della loro natura. I tipi estremi sono la sabbia e l' argilla. Nella sabbia, quando lo strato ha una sufficiente profondità, le piogge le più abbondanti sono assorbite, e difficilmente scorrono sul suolo per dare origine a dei torrenti; nelle terre dure e argillose invece l' imbibizione è lenta; le piogge dirotte sono dannose; il suolo è in breve sommerso, ricusa di assorbire, e le acque scolano se è in declive. Il disseccamento non si produce collo stesso ordine: la capillarità che permette alla sabbia una pronta imbibizione, le impedisce una pronta disseccazione: le acque risalgono a poco per volta, e lentamente si evaporano alla superficie. Il disseccamento delle terre dure, si fa pure collo stesso principio, ma con questa differenza, che i movimenti capillari dell' acqua vi sono incomparabilmente più lenti.

La pronta imbibizione delle materie porose, può facilmente osservarsi immergendo con una sua estremità un grosso pezzo

di zucchero in un liquido colorato : tosto vedesi questo ascendere con assai rapidità fino alla cima del medesimo.

L'ascendere dei liquidi si fa ancora molto facilmente per mezzo dei canali irregolari , che lasciano fra loro le fibre delle materie filamentose , come , il cotone , il lino , la cauapa , la lana ec. ec. È in questa guisa che l'olio ascende nei lucignoli , ed alimenta di continuo la fiamma.

Hales ha provato con alcune esperienze , che le azioni capillari intervengono nel sollevamento dei sughi nei vegetabili. Basta tagliare il ramo di una pianta , legarlo nel punto del taglio a un tubo di vetro , ricuoprendo l'unione con molti doppi di vessica umida fortemente stretta sul tubo e sul ramo , empire il tubo di acqua , e quindi rovesciarlo portandolo a pescare sotto il mercurio. Dopo un certo tempo vedesi salire la colonna del mercurio , e rimanere per del tempo sospesa nel tubo. Alcuni fisiologi ammettevano che il fenomeno dell'assorbimento delle piante dipendesse unicamente dalla forza vitale , ma l'erroneità di questa opinione è provata dal fatto che anche i tronchi da molto tempo tagliati , sono capaci di assorbire l'acqua e moltissimi altri liquidi ancora. Su questa proprietà è fondata un'importante applicazione , cioè la conservazione del legno mediante l'assorbimento di una soluzione di pirolignito di ferro. Essa è dovuta al Boucherie ; il quale ha immaginato diversi metodi per giungere al suo intento. Uno di questi consiste nell'immergere appena tagliato un tronco d'albero provvisto de'suoi rami e delle sue foglie nella rammentata soluzione. In questo caso l'assorbimento è favorito dalla continua evaporazione che si effettua per mezzo delle foglie. Un altro metodo consiste nel tagliare dei tronchi d'albero di due a quattro metri di lunghezza , immergerli con una base nel vaso contenente la soluzione , mentre l'altra base s'introduce in un vaso di ghisa , in cui si rarefa l'aria colla combustione di un po'di stoppa impregnata di alcool. Ripetendo due o tre volte l'operazione si costringe il liquido , a traversare tutto il tronco dell'albero , in grazia della pressione atmosferica.

Cenni relativi alla teoria dei fenomeni capillari. La teoria della capillarità è una delle più difficili della fisica , e non può

esser trattata completamente se non col soccorso dell'analisi matematica. Essa fu studiata specialmente dai celebri Laplace e Poisson, e rende conto non solo dell'innalzamento dei liquidi nei tubi, ma ben anco delle attrazioni e repulsioni che si osservano fra i corpi galleggianti. Noi ci limiteremo ad alcune indicazioni teoriche relative alla curvatura delle superfici liquide al contatto dei corpi, e all'influenza della medesima sull'innalzamento o la depressione dei liquidi nei tubi capillari.

La forma della superficie di un liquido al contatto di un corpo solido dipende dal rapporto che passa fra l'attrazione del solido sul liquido, e l'attrazione delle molecole liquide fra loro. Infatti s'immagini una molecola m (Tav. III, Fig. 79) in contatto di un corpo solido. Questa molecola è sottoposta all'azione di tre forze: la gravità che la sollecita secondo la verticale mP , l'attrazione del liquido che agisce nella direzione MF , e l'attrazione della lamina che si esercita nella direzione mn . Ora secondo le intensità rispettive di queste tre forze, la loro risultante può prendere le tre posizioni seguenti.

1.° Questa risultante può esser diretta secondo la verticale mR (Fig. 79); allora la superficie in m è piana e orizzontale, perchè per le condizioni di equilibrio dei liquidi, che in breve avremo luogo di studiare, la loro superficie deve esser perpendicolare alla direzione della forza che sollecita le loro molecole.

2.° Aumentando la forza n , o diminuendo F , la risultante R si dirige entro l'angolo nmP (Fig. 80); in questo caso la superficie assume una direzione inclinata perpendicolare a mR , e diviene concava.

3.° Se aumenta la forza F , o diminuisce la forza n , la risultante R prende la direzione mR (Fig. 81), entro l'angolo FmP , e la superficie disponendosi perpendicolarmente a questa direzione, diventa convessa.

Col calcolo si dimostra che nel primo caso, l'attrazione del liquido sopra sè stesso è doppia di quella del solido sul liquido; nel secondo caso, l'attrazione del liquido è minore del doppio di quella del solido; nel terzo essa è maggiore.

Vediamo ora come l'innalzamento o la depressione di un liquido in un tubo capillare dipenda dalla forma concava o

convessa del menisco. Se si considera un menisco concavo *ab cd* (*Tav. III, Fig. 82*), le molecole liquide di questo menisco, sostenute in equilibrio dalle forze che le sollecitano, non esercitano alcuna pressione sugli strati inferiori; inoltre, in virtù dell'attrazione molecolare, esse agiscono sugli strati inferiori più vicini, onde ne risulta che sopra uno strato qualunque *mn*, considerato nell'interno del tubo, la pressione è minore di quanto sarebbe senza il menisco. Per conseguenza onde si stabilisca l'equilibrio, il liquido deve elevarsi nel tubo fino a tanto che la pressione interna sullo strato *mn* sia eguale alla pressione dovuta ad *op*, che si esercita esternamente sopra un punto qualunque *p* del medesimo strato. Nel caso in cui il menisco sia convesso (*Fig. 82*), l'equilibrio sussiste ancora per effetto delle forze molecolari che sollecitano il liquido; ma le molecole inferiori non risentono l'attrazione che sarebbe esercitata da quelle che occuperebbero lo spazio *ghiK*, ove mancasse l'azione capillare. Perciò ne risulta che la pressione sopra uno strato qualunque *mn*, è maggiore nell'interno del tubo di quello che sarebbe quando lo spazio *ghiK*, fosse riempito, perchè le forze molecolari di cui si tratta sono molto più intense della gravità. Quindi il liquido deve abbassarsi nel tubo fino a tanto che la pressione interna, sullo strato *mn*, sia la stessa che in un punto qualunque di questo strato.

Dell'Endosmosi. I fenomeni d'endosmosi scoperti da Dutrochet si legano a quelli della capillarità e dell'imbibizione, e meritano di fissare l'attenzione dei fisici. Per farne meglio intendere il principio, noi descriveremo prima l'istrumento per mezzo del quale si possono rendere sensibili. Questo istrumento è l'*Endosmometro di Dutrochet*. Si compone di un tubo *a* (*Tav. III, Fig. 83*), di un largo vaso *B* e di un tramezzo *cd*. Il tubo è di vetro, può avere varj decimetri di lunghezza ed alcuni millimetri di diametro interno: il serbatoio può ricevere diverse forme ed essere di vetro o di metallo; nel primo caso si salda al tubo, ovvero vi si adatta questo per mezzo di un tappo sul collo del recipiente; nel secondo caso si possono saldare insieme con un mastice conveniente; il tramezzo è formato della sostanza solida ed essenzialmente porosa di cui

si vogliono studiare le proprietà : esso deve chiudere l'apertura del serbatoio con tale esattezza che il liquido non possa entrare ed uscire senza attraversarla. Ecco i fenomeni che osservansi quando per es. questo tramezzo è una membrana di vessica fortemente legata sui margini del recipiente, e quando v'ha dell'alcool nell'interno e all'esterno dell'acqua. Sia n il livello dell'acqua nel vaso ed n' il livello dell'alcool nello strumento; dopo un quarto d'ora vi sarà un cambiamento considerevole; il livello n' si sarà sollevato di varj millimetri, continuerà poi a sollevarsi, e se il tubo ha solo quattro o cinque decimetri di altezza, accadrà che dopo un giorno il liquido sarà giunto alla sommità e colerà sui margini.

Questo fenomeno così sorprendente non può essere attribuito nè alla capillarità ordinaria, giacchè essa sarebbe appena capace di mantenere l'alcool qualche centimetro al di sopra del livello esterno, nè a una diminuzione nella capacità del serbatoio per la contrazione della vessica, giacchè invece essa trovasi gonfiata. Infine l'acqua ha filtrato attraverso i pori della vessica, giacchè si ritrova nell'alcool, e si è infiltrata ad onta della pressione che tendeva a spingerla in senso contrario, e che tendeva anche a deprimere l'alcool per ricondurlo presso a poco al livello esterno n . Quest'azione fra questi due liquidi di natura diversa dicesi *Endosmosi*, la quale adunque significa un'infiltrazione in senso contrario delle pressioni idrostatiche.

Se si fa l'esperienza in senso inverso, mettendo l'acqua al di dentro e l'alcool al di fuori, si osserva che il livello interno dell'acqua si abbassa al di sotto del livello libero dell'alcool. Anche in questo caso v'ha endosmosi dell'acqua all'alcool. Dutrochet ha osservato :

1.° Che v'ha endosmosi dell'acqua all'acqua gommosa, all'acido acetico, all'acido nitrico, e specialmente all'acido idroclorico, ma non fra l'acqua e l'acqua acidulata con acido solforico ;

2.° Che diverse membrane vegetabili e animali godono in diverso grado della proprietà di cui gode la vessica; che delle lastre di terra cotta, d'ardesia calcinata, d'argilla, ed in gene-

rale di sostanze alluminose ne godono pure, benchè ad un grado debolissimo.

Le forze capillari, quali sono state considerate fino ad oggi, sono certamente insufficienti a produrre questi risultati, giacchè esse possono benissimo sollevare un liquido al di sopra del suo livello; ma non possono mai farlo uscire dal tubo o dal canale che lo contiene. Così quando s'immerge nell'acqua l'estremità inferiore di un tubo di vetro un po' grosso, avente p. e. 10 millimetri di lunghezza ed un millimetro di diametro interno, il liquido si solleva fino in cima, poichè salirebbe fino ai 30 millimetri di altezza; ma giunto là si ferma e conserva una curvatura di cui tutta la concavità è al di sotto del piano che termina il tubo. Perciò bisogna concludere che regna ancora una grande oscurità intorno alla causa di questo singolare fenomeno. Nelle funzioni organiche di nutrizione, hanno al certo molta parte i fenomeni di endosmosi.

Differente stato della materia.

V'ha in natura una forza di cui l'effetto è contrario a quello dell'attrazione molecolare. È questa la forza repulsiva del calorico. Ogni corpo quando vien riscaldato si dilata, vale a dire aumenta di volume. Una palla di rame riscaldata non passa più per lo stesso anello attraverso al quale passava mentre era fredda. Se s'immerge nell'acqua calda un tubo di vetro terminato in una sfera vuota, la quale contenga, come anche un certo tratto del tubo, un liquido colorato, si vede questo dilatarsi e salire lungo il tubo. Se si prende un tubo di vetro fatto ad *U* terminato da due globi pure di vetro, perfettamente chiuso e pieno di aria, il quale nel mezzo della sua parte orizzontale contenga una colonna di liquido colorato, e con una mano si riscalda una delle palle, si vede il liquido spinto verso l'altra palla dalla dilatazione dell'aria prodotta dal riscaldamento. In tutti questi casi il calore agisce, allontanando fra loro le molecole dei corpi riscaldati, le quali erano tenute vicine dall'attrazione molecolare. Il calore agisce adunque come una forza repulsi-

va, come un fluido di cui le molecole, di una estrema tenuità, si respingono mutuamente, ed agiscono sulle molecole dei corpi allontanandole le une dalle altre. Ma il calorico oltre il dilatare i corpi, produce anche l'effetto di far loro cangiare di stato. Noi sappiamo difatto che il ghiaccio, lo zolfo, il piombo ec. riscaldati, lasciano lo stato solido per divenir liquidi, che l'acqua e tutti i liquidi riscaldati più o meno prendono lo stato vaporoso o aeriforme. I liquidi occupano sempre un volume maggiore dei solidi da cui provengono, ed i vapori ne occupano uno infinitamente più grande di quello dei liquidi che li hanno prodotti, onde è evidente che la cagione di questi cambiamenti di stato è pure riposta nella forza repulsiva del calorico. Si ammette in generale dai fisici che i corpi sieno composti di molecole distanti le une dalle altre e circondate da un'atmosfera di calorico, le cui parti si respingano fra loro, e sieno invece attratte dalle molecole ponderali. Quindi nei corpi agiscono contemporaneamente le seguenti forze: 1.^o l'attrazione delle molecole ponderali; 2.^o la forza repulsiva del calore; 3.^o la forza d'attrazione delle molecole ponderali pel calore. Dall'esistenza simultanea delle prime due dipendono necessariamente i tre stati diversi che i corpi possono prendere. Dalla terza dipende la proprietà che hanno i corpi di assorbire il calore, e quindi di dilatarsi e di cambiare stato, quando sono posti in vicinanza di una sorgente calorifica.

Nei corpi solidi l'attrazione molecolare supera la forza repulsiva del calore e tutte le altre forze che agiscono simultaneamente sulle loro molecole, e però le loro molecole sono immobili le une rispetto alle altre, e le loro forme sono indipendenti dalla loro posizione e dalle altre condizioni in cui si trovano. Tal proprietà contrassegna così bene questo stato della materia, che basta a distinguerlo dagli altri due. Laonde quando si dice che tal corpo ha la forma di cilindro, tale altro di cubo, di sfera ec., s'intende che queste figure non possono appartenere che ad un corpo solido. Nei liquidi l'effetto del calorico e dell'attrazione molecolare si bilanciano, onde avviene che le loro molecole sieno dotate di libero movimento e cangino la loro posizione relativa ad ogni urto e

ad ogni causa che ne disturbi lo stato di quiete. Quindi è che i liquidi non hanno forme dipendenti soltanto dal modo di riunione delle molecole che li compongono, ma obbediscono alla gravità, sicchè si modellano sulla forma dei vasi che li contengono, e prendono una superficie piana e parallela all'orizzonte.

Nei corpi aeriformi la repulsione del calorico vince l'effetto dell'attrazione molecolare e della gravità. Le loro molecole si allontanano incessantemente fra loro, per cui essi tendono di continuo ad aumentare di volume, ed esercitano uno sforzo incessante contro gli ostacoli che si oppongono per ritenerli. Dopo ciò s'intende facilmente come l'aggiunta del calorico ad un corpo possa farlo successivamente passare dallo stato solido al liquido e quindi all'aeriforme.

Proprietà dello stato solido.

Le proprietà che ci accingiamo a studiare dipendono in generale da certe modificazioni d'attrazione che influiscono sulla disposizione delle molecole dei corpi. Queste proprietà non sono generali: esse appartengono a certi corpi e non ad altri: spesso ancora varj corpi possono esser provvisti di alcune di esse allorquando trovansi situati in particolari circostanze, e possono perderle quando queste circostanze non si danno più. Tali proprietà sono le seguenti: la *Cristallizzazione*, l'*Elasticità*, la *Malleabilità*, la *Duttilità*, la *Tenacità* e la *Durezza*.

Della cristallizzazione. Si trovano in natura molti corpi i quali presentano delle figure regolari e simmetriche, il cui solo aspetto annunzia l'azione di una causa sottoposta a delle leggi fisse e determinate. Questi corpi diconsi *cristalli*; sono sempre terminati da superfici piane, ed hanno una grande analogia coi solidi della geometria. Così per esempio il solfuro di ferro, o pirite marziale, si presenta sotto la forma di cubi o di dodecaedri a facce pentagone, il carbonato di calce sotto moltissime forme diverse, fra le quali la più comune è quella di parallelepipedo obliquangolo o romboide. Tra le forme geome-

triche dei corpi cristallizzati alcune diconsi primarie, altre secondarie. Dicesi che un cristallo è dotato di forma primaria, quando presenta la stessa forma delle molecole da cui è costituito, e che conseguentemente non presenta nelle più piccole particelle in cui può esser diviso, una forma diversa da quella dell'intero cristallo. Si dice invece, che è di forma secondaria quel cristallo che presenta una forma diversa da quella delle particelle in cui può dividersi, la quale è dovuta al modo particolare di aggregazione delle sue molecole dotate di forma primitiva. Onde un corpo possa presentarsi sotto forma cristallina è necessario che sia stato primitivamente liquido o gassoso. Un corpo può quindi cristallizzare per fusione, per dissoluzione e per sublimazione. I metalli, come per esempio il bismuto, cristallizzano per fusione; i sali ordinariamente per dissoluzione, come il nitro e l'allume; certi corpi volatili come l'iodio, l'arsenico, la canfora, l'acido benzoico, per sublimazione, cioè a dire colla lenta evaporazione, in guisa che i vapori lentamente raffreddandosi vengano a concretarsi sotto forme regolari. Lo studio profondo delle forme cristalline dei corpi, e del modo di ottenerle spetta alla mineralogia ed alla chimica.

Elasticità. L'elasticità è quella proprietà dei corpi solidi di riprendere la loro forma allorchè è cessata la forza che l'aveva alterata, in seguito di un movimento da questa comunicato a tutte le molecole di cui sono formati. Il ritorno alla posizione primitiva si fa ordinariamente con un seguito di oscillazioni più o meno numerose intorno a questa stessa posizione. Così una lamina di acciaio fissa in un modo invariabile con una delle sue estremità, incurvata che sia e abbandonata a sè stessa, ritorna nella sua posizione primitiva, che oltrepassa per la velocità acquistata, per tornarvi poscia, facendo intorno di essa delle oscillazioni simili a quelle di un pendolo che è stato allontanato dalla sua posizione di equilibrio. È evidente che in questa esperienza, le molecole sono state allontanate dalla loro posizione di equilibrio, e che è la forza colla quale tendono a ritornarvi, che produce l'elasticità della massa.

Il cambiamento di forma dei corpi necessario allo sviluppo della elasticità manifestasi in un modo evidentissimo nelle lamine e nelle verghe metalliche; ma vi sono delle circostanze nelle quali questo cambiamento non si scorge. Per esempio quando una palla d'avorio cade sopra un piano di marmo, essa risale quasi all'altezza del punto di partenza, il che indica una grandissima elasticità nella palla; ma non v'ha nulla che mostri il cambiamento di forma che ha dovuto subire onde si sviluppasse in essa l'elasticità. Per altro possiamo coll'esperienza dimostrare che la palla ha realmente cambiato di forma, e che si è schiacciata; basta ricuoprire il piano di marmo su cui si fa cadere la palla di un leggiero strato d'olio macinato con nero di fumo. Si osserva allora sulla palla una macchia circolare di nero di fumo di un diametro assai considerevole, la quale non avrebbe potuto formarsi se la palla in grazia dell'urto non si fosse schiacciata. Le forze che sviluppano l'elasticità sono quelle che determinano l'equilibrio molecolare dei solidi. Se due molecole si allontanano o si avvicinano fra loro, cesserà tosto lo stato di equilibrio in cui si trovano; esse tenderanno a riprenderlo, e daranno origine ad un movimento che sarà cagione della elasticità. È chiaro che la velocità di questo movimento e quindi la intensità della elasticità dipenderanno dalle quantità di allontanamento o di ravvicinamento che si faranno subire alle molecole dei corpi. Appartiene ad ogni solido l'elasticità in un grado diverso, e v'è per ognuno un limite di elasticità che misura la quantità delle variazioni che può subire senza cessare di essere elastico. Sembra che al di là di questo limite le molecole essendo più prossime ad una nuova posizione di equilibrio che alla prima, prendano quella, e la massa non possa quindi riprendere la sua forma primitiva. Così sotto certe pressioni i metalli non possono riprendere la forma primitiva, e si addensano acquistandone una nuova. È su questo fatto che è fondata l'arte di coniare le monete e le medaglie.

Vedremo fra breve che nei liquidi e nei gas questo limite di elasticità non esiste; vale a dire che questi corpi sono perfettamente elastici, e riprendono sempre il volume primitivo

tosto che la pressione ritorna al valore primitivo, e ciò per qualsiasi pressione.

Si giunge nelle arti a produrre in certi corpi una grandissima elasticità per mezzo di un cambiamento brusco di temperatura. Così l'acciajo riscaldato ad una temperatura più o meno alta, e raffreddato bruscamente coll'immersione nell'acqua o in un altro liquido, diviene duro, elastico e fragile. Acquista queste nuove proprietà a un grado tanto più alto, quanto più considerevole e pronto è stato l'abbassamento di temperatura. Questa operazione porta il nome di *tempra*. Si toglie all'acciajo l'acquistata elasticità facendolo scaldare alla stessa temperatura e lasciandolo lentamente raffreddare. È difficile di rendersi conto di questo subitaneo sviluppo d'elasticità pel solo effetto della tempra e della disparizione di questa proprietà col ricuocimento. Ecco pertanto da qual cambiamento sembra dipendere l'acquistata elasticità. L'acciajo immerso subitamente nell'acqua si raffredda prima alla sua superficie: questo raffreddamento avendo luogo prima che gli strati interni sieno tornati all'ordinaria temperatura, ne avviene che la crosta esterna solida che tosto si forma, impedisce alle molecole interne di ravvicinarsi, come avrebbero fatto se l'abbassamento di temperatura avesse avuto luogo gradatamente; la massa interna mantienesi adunque in uno stato di dilatazione forzata, e alla medesima pare debba attribuirsi l'acquistata elasticità. L'osservazione mostra difatto che l'acciajo per un brusco raffreddamento conserva un maggior volume che per un lento raffreddamento, e conseguentemente siffatta dilatazione forzata ha luogo realmente. Dopo ciò non si sa come avvenga che la lega di rame e stagno, che serve a costruire i cembali, acquisti invece grandissima durezza ed elasticità col lento raffreddarsi.

Il vetro acquista anch'esso colla tempra una grandissima durezza; ma ciò che è rimarchevole nel vetro bruscamente raffreddato si è, che la dilatazione forzata delle molecole interne è solo mantenuta dalla resistenza simultanea di tutti i punti dell'invoglio, giacchè se una porzione della crosta esterna è distrutta, il corpo si rompe con esplosione. Ciò può facilmente verificarsi su quei piccoli frammenti di vetro che

distinguonsi col nome di *lacrimæ bataviche*, le quali formansi lasciando cadere delle gocce di vetro fuso nell'acqua fredda. Quando si rompe l'estremità del filo di vetro che le termina, esse riduconsi immediatamente in polvere. Onde evitare questa grande fragilità del vetro bruscamente raffreddato, s'introducono gli oggetti di vetro appena fabbricati in un forno molto allungato, un'estremità del quale, comunicando col forno in cui il vetro trovasi in fusione, è ad un'altissima temperatura, e l'altra estremità, comunicando coll'aria per mezzo di una larga apertura, è presso a poco alla ordinaria temperatura. Gli oggetti lavorati sono posti nella parte più calda del forno, e quindi lentamente ritirati verso l'altra estremità: il raffreddamento si effettua allora gradatamente ed in varie ore, ed il vetro perde una gran parte della sua fragilità.

Molti metalli acquistano ancora della durezza e della elasticità percuotendoli a freddo, o facendoli passare alla filiera o al laminatojo. Si dice allora che si sono *incruditi*. Per toglier loro la crudezza acquistata si è obbligati di farli scaldare a rosso e di lasciarli lentamente raffreddare. Il ferro, il rame, il platino e varj altri sono in questo caso. È importante osservare che l'effetto dell'incrudimento per mezzo del martellamento, del laminatojo e della filiera, è di aumentare la densità del corpo, e di avvicinare le molecole, mentre che nella tempra si produce un effetto contrario, perchè il corpo aumenta di volume. Sembra adunque che le variazioni d'elasticità di uno stesso corpo provengano da una modificazione nella disposizione dei gruppi di molecole, fra i quali si suppone che si determini la stabilità d'equilibrio.

Lo sviluppo dell'elasticità di un corpo dipende non solo dalla elasticità propria della materia che lo costituisce, ma ancora dalla sua forma, dalla posizione dei punti fissi e del punto d'applicazione della forza, e dalla direzione di questa. Se ne concepirà facilmente la ragione osservando che la flessione che si può far provare ad un corpo senza alterarne la forma in un modo permanente e senza romperlo, cioè a dire senza allontanarne le molecole al di là del limite d'elasticità, è tanto più grande quanto più grande è la distanza del punto di applicazione della forza dai punti fissi, e quanto più pic-

cole sono le dimensioni del corpo parallele alla direzione della forza, relativamente alle altre. Perciò le lastre sono più flessibili delle masse della stessa lunghezza e larghezza, e le lamine molto lunghe ed i fili sono anche più elastici.

Elasticità dei fili e delle lamine tese nel senso della loro lunghezza. Sgravesande ha fatto delle numerose esperienze su questo soggetto. Prima di parlare dei risultati ai quali è giunto descriveremo sommariamente il modo di sperimentare da esso impiegato. I fili e le lamine erano tesi orizzontalmente fra due morse a e b (Tav. III. Fig. 81); una lamina sottilissima di rame mn traversata da un foro, attraverso il quale passava il filo, portava inferiormente un bacino che si caricava di varj pesi, e superiormente una corda avvolta sopra una puleggia fissa R , e sostenente alla sua estremità un peso P , destinato a fare equilibrio alla lastra ed al piatto vuoto. La puleggia portava un lungo ago RL , equilibrato dal suo prolungamento FR ; l'ago percorreva un cerchio diviso fisso. In grazia di questa disposizione, il più piccolo abbassamento del filo orizzontale diveniva sensibile. Sgravesande avea prima determinato il rapporto della distanza o freccia Cc a un grado del cerchio. Caricando il bacino di pesi, il filo o la lamina ACB prendeva la forma della linea spezzata AcB , nella quale il punto c era al mezzo della lunghezza, e in cui le due parti Ac e cB subivano tensioni eguali. Mettendo nella bilancia diversi pesi, l'arco che descrive l'ago indica la distanza o saetta Cc , da cui si deduce l'allungamento del filo. Sgravesande dedusse da queste esperienze questa legge importante: che quando un filo è tirato nel senso della sua lunghezza da dei pesi assai piccoli, e tali che soppressi il filo ritorna alla sua lunghezza primitiva, l'allungamento del filo è proporzionale al peso, qualunque sia la tensione primitiva. Sgravesande deduce da questa legge un risultato importante, ed è: che in ogni corpo che riprende per elasticità la sua posizione primitiva, la forza che si sviluppa per la subita variazione di lunghezza è proporzionale a questa variazione. Per questa forza oscilla intorno alla sua posizione di equilibrio, e queste oscillazioni sono isocrone. L'isocronismo di queste oscillazioni dipende

da ciò che ad ogni istante la forza è proporzionale all' allontanamento. La diminuzione di ampiezza che si osserva successivamente in queste oscillazioni, e per cui si estingue il movimento, avviene anche nel vuoto, e prova che deve attribuirsi non solo alla resistenza dell'aria, ma anche al movimento comunicato ai corpi che sostengono il filo.

Elasticità dei fili sviluppata colla torsione. Coulomb ha fatto su questo soggetto numerose ricerche; noi descriveremo i principali risultati ai quali è giunto, e la bilancia che porta il nome di questo fisico. Sia AB (*Tav. III, Fig. 85*) un filo metallico sospeso alla sua estremità A e teso da un peso P . Al di sotto di questo peso sia un ago CD , l'estremità del quale percorra il cerchio diviso e fisso MN . Se facciamo girare il corpo P su sè stesso, in modo che il filo resti sempre nella stessa verticale, e se quindi abbandoniamo il peso a sè stesso, le particelle del filo spostate dalla torsione, tenderanno a ritornare alle loro posizioni primitive, trascinando il peso P e l'ago BC ; ma poichè esse giungeranno alla loro posizione primitiva con una velocità acquistata, esse la oltrepasseranno e faranno intorno a questa posizione una serie di oscillazioni le cui ampiezze anderanno continuamente decrescendo.

Coulomb ha riconosciuto in questi movimenti le leggi seguenti:

1.° La forza necessaria per mantenere avvolto il filo, la quale forza dicesi di *Torsione*, è proporzionale all'angolo di torsione, e per uno stesso corpo, le oscillazioni sono isocrone.

2.° Per una medesima forza di torsione e per fili del medesimo diametro, l'angolo di torsione è proporzionale alla lunghezza dei fili.

3.° Per una medesima forza e per una medesima lunghezza dei fili, l'angolo di torsione è inversamente proporzionale alla quarta potenza dei diametri.

Sopra questi principj Coulomb ha fondato la Bilancia di torsione, che è uno dei più esatti istrumenti che si posseggano per misurare le deboli forze d'attrazione e di repulsione. Essa è essenzialmente composta di un filo metallico (*Tav. III, Fig. 86*) ab ,

la cui estremità superiore è fissa in una pinzetta, e la cui estremità inferiore sopporta un piccolo peso, traversato da un ago orizzontale leggerissimo, la natura del quale varia a seconda delle forze che si vogliono misurare. Affinchè i movimenti non sieno turbati dall'agitazione dell'aria, l'ago è racchiuso in una campana di cristallo quadra o cilindrica, sulla superficie della quale trovasi una scala, le cui divisioni corrispondono ai gradi circolari. Il filo è pure racchiuso in un cilindro vuoto, nella parte superiore del quale trovasi un quadrante diviso, fisso sul cilindro. La pinzetta che sostiene il filo prolungasi attraverso il quadrante e termina con un ago orizzontale che percorre il quadrante, e che serve a misurare la torsione che si dà al filo dalla parte superiore. Quando si vogliono misurare delle picciolissime forze, si prendono dei fili lunghi e fini di sostanze molto elastiche, giacchè la forza di torsione è in ragione inversa delle lunghezze, e proporzionale alla quarta potenza dei diametri. La parte superiore della campana è guarnita di un orifizio m , dal quale s'introduce il corpo, il quale agendo per attrazione o per repulsione sulla leva orizzontale, la devia dalla sua direzione, di una quantità, che può rendersi costante o variabile, secondo una certa legge, torcendo il filo dalla parte superiore. La distanza dei corpi che agiscono, e la torsione del filo, che si compone della deviazione dell'ago e della torsione esercitata nella parte superiore, conducono facilmente, come vedremo in seguito, alla determinazione del rapporto delle forze che si manifestano in differenti circostanze, tra la leva ed il corpo introdotto nella bilancia.

Influenza dell'elasticità nell'urto dei corpi. Abbiamo già osservato che allorquando due corpi assolutamente duri vengono ad urtarsi, essi rimangono a contatto e proseguono a muoversi con una quantità di movimento eguale alla somma o alla differenza di quella quantità da cui erano spinti prima dell'urto; cioè eguale alla somma se i movimenti erano nel medesimo senso, alla differenza se erano in senso contrario. Ma nei corpi elastici non succede lo stesso. Al primo istante dell'urto comprimonsi, e non cessa la pressione finchè le velocità non si sono egualmente distribuite nelle due masse. Ma appena è ces-

sata la pressione, la forza elastica si sviluppa in ambedue i corpi, e, nel ridonar loro la primitiva forma, restituisce ai medesimi, in senso contrario, un grado di velocità proporzionale alla compressione sofferta, cioè a dire la velocità perduta nella compressione. Infatti lasciando cadere dall'alto, per la sola forza di gravità, sopra un piano di materia dura un corpo eminentemente elastico, esso rimbalzando risale alla stessa altezza da cui è caduto, perchè la velocità restituitagli dall'elasticità eguaglia quella che gli aveva impresso l'azione della gravità.

Supponiamo adesso di avere due corpi elastici sferici *A* e *B* (*Tav. III, Fig. 87*); due bilie per es., i quali muovansi ambedue sulla stessa linea retta *CD* nella direzione indicata dalla freccia. Affinchè i due corpi possano urtarsi fa d'uopo che la velocità del corpo *A*, che è indietro, sia maggiore di quella dell'altro. Tosto che il corpo *A* avrà raggiunto il corpo *B*, esso tenderà a farlo muovere con maggior velocità; ma l'accelerazione del moto non si trasmetterà istantaneamente perchè dovrà propagarsi in tutte le molecole del corpo *B*. Ma poichè i due corpi urtatasi sono compressibili, ambedue si deformeranno appianandosi dal lato in cui ha avuto luogo l'incontro. Dal momento del contatto dei due corpi, la loro deformazione va aumentando, ma nello stesso tempo l'accelerazione del movimento comunicata alle prime molecole di *B* si trasmette a poco a poco a tutta la massa del corpo, ed il rallentamento delle prime molecole di *A* si comunica a tutta la sua massa: perciò la velocità di *A* diminuisce, e quella di *B* aumenta. Finchè la velocità di *A*, quantunque diminuendo, si conserva maggiore di quella di *B*, che va aumentando; i corpi seguitano ad appianarsi, ma tosto che le velocità dei due corpi sono divenute eguali, la deformazione non aumenta più. Nondimeno l'urto non sarà terminato. Dal momento che le velocità dei due corpi si son fatte eguali, essi tendono per la loro elasticità a riprendere la forma che aveano prima dell'urto, e in conseguenza vengono a respingersi. Perciò la velocità del corpo *A* continua a diminuire; quella del corpo *B* ad aumentare, e ben presto i due corpi si separano e viepiù si allontanano fra loro.

Apparisce chiaramente, che se i due corpi elastici hanno la stessa massa, dopo l'urto si scambieranno le loro velocità. Così supposto che le due bilie *A* e *B* sieno di egual massa, ma che *A* abbia una velocità iniziale di 7^m per secondo, e *B* di 2^m; dopo la prima parte dell'urto avranno acquistato la comune velocità di 4^m 5 per secondo. La velocità di *A* sarà diminuita di 2^m 5; quella di *B* avrà aumentato della stessa quantità. Ma nella seconda parte dell'urto, allorquando l'elasticità restituisce a ciascuna palla delle forze proporzionali alla compressione subita, e in senso contrario alla direzione di questa forza, alla bilia *A* vien comunicata una velocità di 2^m 5, eguale alla velocità perduta, in direzione contraria a quella del suo movimento; talchè le resta una velocità di 2^m per secondo; alla bilia *B* vien comunicata una egual velocità 2^m 5, ma nella stessa direzione del suo movimento, talchè acquista una velocità di 7^m per secondo.

In conseguenza dell'indicato principio, allorquando uno dei due corpi elastici di egual massa è in quiete, dopo l'urto, il movimento gli viene intieramente trasfuso dall'altro, che tosto rimane immobile.

Perciò avviene che in una serie di globi d'egual massa e perfettamente elastici, situati a contatto, se il primo va ad urtare il secondo, che insieme agli altri è in quiete, questo riceverà tutta la velocità del primo, e diverrà urtante pel terzo globo, al quale comunicherà la velocità ricevuta, restando esso medesimo in quiete, e nell'istesso modo si comunicherà la velocità fino all'ultimo, che rimbalzerà colla velocità stessa del primo globo urtante. I globi intermedj rimangono perfettamente immobili, e non servono che a trasmettere il movimento dal primo all'ultimo globo. Questa trasmissione sembra istantanea se l'esperimento si fa con un piccol numero di palle, ma diviene di una durata sensibile, quando esse sono molte. S'intende eziandio che se nella stessa serie di globi sono i due primi che vanno contemporaneamente ad urtare gli altri in quiete, si moveranno soltanto i due ultimi colla stessa loro velocità. Lo stesso dicasi se gli urtanti sono i primi tre, o un numero maggiore di globi. È da osservarsi che sebbene i corpi ci sembrino a contatto, non lo sono però

in modo rigoroso, e che anzi, se non esistesse una certa distanza, quantunque piccolissima, fra di essi, i fenomeni descritti non si produrrebbero. Da una palla all'altra il movimento si propaga in seguito di successivi cambiamenti di forma per ciascuna: se il contatto fra loro fosse perfetto, tutta la serie delle palle si muoverebbe a guisa di un corpo rigido.

Se una bilia elastica cade in direzione verticale su di un piano duro, sbalza e torna a salire per la verticale stessa; se vi cade o l'urta in direzione obliqua, invece di tornare in dietro percorrendo la stessa linea, prende una direzione, la quale forma *un angolo di riflessione eguale all'angolo d'incidenza*; cioè a dire, che condotta una perpendicolare al piano in cui urta la palla, nel punto ove accadde l'urto, questa linea forma due angoli eguali colle rette che corrispondono alla direzione in cui si muove la palla innanzi e dopo l'urto. Può facilmente verificarsi questa legge sul piano di un biliardo.

Duttilità. Abbiamo detto che i corpi non sono tutti egualmente dotati di elasticità, e che anzi è in essi molto variabile il limite di loro elasticità, cioè a dire il limite degli sforzi che possono sostenere senza cessare di essere elastici. Quando si sottopongono i corpi solidi a degli sforzi che oltrepassano questo limite, cioè a delle trazioni o a delle pressioni assai considerevoli, essi non riprendono più la loro forma e le loro dimensioni primitive, ma invece queste restano alterate. Questa nuova proprietà dei solidi è la *duttilità*; ma con tal nome si distingue più particolarmente la proprietà che hanno certi solidi, come per esempio i metalli, di ridursi in fili, mentre dicesi *malleabilità*, quella particolar duttilità per la quale siffatti corpi riduconsi in lamine.

I metalli riduconsi in fili per mezzo della *filiera*, la quale consiste in una lastra di acciaio nella quale sono praticati dei fori circolari i cui diametri vanno restringendosi. I margini di questi fori sono acuti. Si dà alla verga metallica, che si vuol ridurre in filo, un diametro poco più grande del maggior foro della filiera, e si assottiglia una delle sue estremità affinché passi per questo foro: si afferra questa cima con una tauaglia, e tirando con forza si fa passare l'intera verga attraverso il foro. La verga sorte necessariamente allungata ed assottigliata,

e si fa quindi successivamente passare per gli altri fori che hanno i diametri sempre più piccoli.

I metalli riduconsi in lamine, sia col martellamento, sia per mezzo del *laminatoio*. Questo apparecchio consiste in due cilindri metallici, posti orizzontalmente l'uno al di sopra dell'altro, i quali si fanno girare con egual velocità, ma in senso contrario. I cilindri possono esser posti a differenti distanze fra loro, ma una volta regolati, conservano un'eguale lontananza. La lastra metallica impegnata fra di essi è costretta a seguire il loro movimento, e a distendersi in modo da prendere la grossezza eguale alla loro distanza. Si ripassa nuovamente fra i cilindri maggiormente avvicinati, e così ottengono delle lamine viepiù sottili.

La duttilità e la malleabilità non dipendono dall'istessa causa, imperocchè si osserva che un dato metallo può esser duttilissimo e poco malleabile, e viceversa. Così il ferro riducesi in fili sottilissimi, ma non è capace di distendersi in lamine molto fini; mentre lo stagno si tira in lamine esilissime, e non in fili.

Ecco in qual ordine debbono collocarsi i principali metalli, rispetto a queste due proprietà.

Ordine di Malleabilità	Ordine di Duttilità
Oro	Oro
Argento	Platino
Rame	Argento
Stagno	Ferro
Piombo	Rame
Zinco	Zinco
Platino	Stagno
Ferro	Piombo

Tenacità. La resistenza che i solidi oppongono a due forze che agiscono in senso contrario e tendono ad allungarli o a dividerli, ha ricevuto il nome di tenacità. Essa sembra dipendere principalmente dalla coesione. Per misurare la tenacità dei corpi, si sospendono ad una estremità, e si fissa all'altra un bacino di bilancia che si carica progressivamente di pesi finchè l'aderenza delle molecole sia distrutta. Il peso sotto il quale avviene la rottura, dà la misura della tenacità o della resistenza alla trazione che possiede il corpo.

È stato osservato che la resistenza dei corpi, sotto forma di sbarre, di verghe o di fili, è indipendente dalla loro lunghezza, ed è proporzionale alla superficie d'una sezione perpendicolare alla direzione della trazione; che i corpi composti di fibre parallele, come i legni, resistono molto più nel senso di queste fibre che in qualunque altro; che i metalli lavorati o passati alla filiera, hanno molto maggior tenacità di quando sono stati semplicemente fusi; infine che la tenacità dei metalli diminuisce a misura che s'inalza la loro temperatura.

Ecco alcuni risultati indicanti i pesi sotto i quali si rompono dei prismi o dei fili metallici, di un millimetro quadro di sezione trasversa:

Ferro battuto	43,84	chilogr.
Ghisa	13,00	"
Bronzo da cannoni	25,54	"
Rame battuto	24,86	"
Stagno fuso	3,32	"
Piombo	1,35	"

La tenacità di certi legni è pure rimarchevolissima. L'esperienza ha provato che un'asta di legno di faggio, di querce o di frassino può sopportare un peso quasi tanto grande quanto quello che sopporta una verga d'argento dello stesso diametro. Il quadro seguente indica i pesi sotto i quali si rompono certi legni ridotti in prismi allungati nel senso delle fibre, ed aventi un centimetro quadrato di sezione trasversa.

Bossolo	1400	chilogr.
Pino	840	"
Faggio	800	"
Querce	700	"

È da osservarsi che la querce è inferiore al pino per la resistenza alla trazione nel senso delle fibre, mentre che gli è superiore per la resistenza a delle trazioni esercitate in altri sensi.

Fra le sostanze vegetabili di cui si fanno dei fili o delle corde, si è osservato che la canapa è più tenace del lino nel rapporto di 46 a 37. Fra le sostanze animali, la seta è più tenace del crino di cavallo nel rapporto dei numeri $53\frac{1}{2}$ a 45.

Durezza. Chiamasi durezza di un corpo la resistenza che oppone alla separazione delle sue molecole.

Si giudica della durezza relativa di due corpi, dalla proprietà che uno di essi, tagliato in punta o a spigolo, può avere di solcare o incidere la superficie dell'altro. Questa proprietà permette di disporre i corpi solidi nell'ordine decrescente della loro relativa durezza, il che fornisce un mezzo idoneo a distinguerli fra loro quando la loro apparenza è la stessa. Il diamante è il più duro di tutti i corpi conosciuti; e non si riesce a lavorarlo ed a tagliarlo in faccette, se non per mezzo della sua stessa polvere.

La resistenza che presenta un corpo ad essere solcato ed inciso da un altro, non dipende solo dal grado di durezza del corpo incidente, ma ancora dall'angolo che gli si fa fare colla superficie del corpo su cui si applica, e dalla velocità che gli è data. Una lima che rode facilmente il ferro dolce è fortemente attaccata a un disco di ferro dolce al quale si dà una grande velocità. Lo spigolo dei cristalli del diamante non taglia perfettamente il vetro se non quando le facce che lo costituiscono sono egualmente inclinate sul vetro; se lo sono diversamente il vetro è soltanto roso.

La durezza non è proporzionale alla densità, giacchè l'oro, benchè molto meno duro del diamante, è quattro volte più denso.

Non bisogna confondere i corpi così detti *teneri* coi corpi *fragili*. La tenerezza e la fragilità non hanno rapporto fra loro. La prima è la proprietà opposta alla durezza; la seconda è la poca resistenza all'effetto della percussione, in modo da essere più o meno facilmente spezzati. Il vetro che è un corpo durissimo, è pure estremamente fragile, e lo stesso diamante si spezza sotto il martello; mentre che il piombo, che è un metallo così tenero da essere inciso perfino dall'unghia, non è punto fragile.

Proprietà dello stato liquido dei corpi.

Mobilità, compressibilità ed elasticità dei liquidi. Dicemmo la mobilità essere la principale e la più evidente proprietà di questo stato; difatti le molecole dei corpi liquidi possono in qualunque modo spostarsi, senza che perciò lo stato del corpo si muti. Le posizioni delle molecole di un liquido le une rispetto alle altre sono intieramente indifferenti.

I liquidi sono anche compressibili, ma in picciol grado, tanto che per lungo tempo si è messa in dubbio questa loro proprietà. Alla fine del diciassettesimo secolo gli Accademici del Cimento fecero delle numerose esperienze per constatare la diminuzione di volume dei liquidi colla compressione. Essi impiegarono prima un tubo ricurvo *abcd* (*Tav. III, Fig. 88*), terminato da due palle *A* e *B*; la prima era piena di acqua come anche una porzione del tubo *ab*, l'altra non era piena che fino alla origine del tubo. Dopo aver posto la palla *A* nel ghiaccio, essi scaldarono la palla *B*, il liquido di questa palla dilatandosi comprimeva la colonna d'aria che separava i due liquidi, e questa pressione si trasmetteva sul liquido del braccio *ab*. Giunsero così ad ottenere una fortissima pressione, ma non osservarono alcuna apprezzabile diminuzione del livello *m* dell'acqua nel tubo *ab*. Quest'effetto derivava probabilmente dalla condensazione di una parte dei vapori che si formavano nel tubo riscaldato, e per la quale aumentava l'altezza del liquido a misura che la compressione tendeva a diminuirlo. Non furono più fortunati comprimendo l'acqua in un tubo diritto con una colonna di mercurio di 24 piedi di altezza. Fu allora che riempirono d'acqua una sfera di argento, e che videro, nel comprimerla per diminuirne il volume, dopo averla chiusa esattamente, trasudarne l'acqua attraverso le pareti. In sequela di questi tentativi, essi conclusero che la compressibilità dell'acqua, se pure esisteva, non poteva essere costatata coll'esperienza. Ma nel 1761 Canton riprese a studiare questa importante questione, e giunse a constatare la compressibilità dell'acqua e a misurarla. Per giungere a questo risultato, immaginò un apparecchio, che fu poi modificato da Oersted, e che fu chiamato *Piezometro* (*Tav. IV, Fig. 91*). Ecco in che consiste questo istrumento. *ABCD* è un cilindro di vetro, chiuso in *AB* da una ghiera di ottone nella quale entra a vite il corpo di pompa *EFGH*; *IK* è una vite che serve a sollevare e ad abbassare lo stantuffo *m*; *vs* è un tubo destinato ad introdurre l'acqua nel corpo di pompa, dopo averne empito il cilindro; *t* è un robinetto che chiude questo tubo. L'apertura laterale *u* del corpo di pompa serve a fare uscir l'aria, sin tanto che l'acqua entra pel tubo *vs*, ma tosto

si chiude all'abbassarsi dello stantuffo: *ab* è un recipiente cilindrico di vetro terminato in un tubo capillare *cd*, ed in questo tubo appunto diviso in parti di eguale capacità, e di cui si condsce il rapporto col volume del recipiente, si mette il liquido che si vuol comprimere. Prima di cominciare la esperienza s'introduce nell'estremità del tubo capillare *cd* terminata ad imbuto, una goccia di mercurio che serve d'indice. Unito a questo apparecchio è un tubo *ef*, pure di vetro, ben calibrato, aperto in basso, e che perciò riman sempre pieno di aria. Allorquando al discendere dello stantuffo l'acqua è compressa, si vede scendere l'indice di mercurio, e comprimersi nel tempo stesso l'aria contenuta nel tubo *ef*. Noi vedremo più innanzi come le diminuzioni di volume che avvengono nell'aria compressa, misurano la pressione esercitata sull'acqua. L'unità di pressione adottata nella ricerca della compressibilità de' liquidi è *il peso di un'atmosfera*, che equivale a circa un chilogrammo per ogni centimetro quadrato.

Per mezzo del piezometro, Oersted determinò che la compressione dell'acqua priva di aria era di 0,000050, per ogni atmosfera; quella dell'alcool di 0,000009; quella dell'etere solforico di 0,000126; e quella del mercurio di 0,000003. La compressibilità dei liquidi è perciò estremamente piccola, anche sotto pressioni molto forti. La determinazione dei numeri precedenti, è stata fatta con pressioni comprese fra una e venti atmosfere.

A 10,000 metri di profondità, l'acqua del mare provando una pressione di circa 1000 atmosfere, il suo volume dovrebbe esser ridotto di 1000 volte 50 milionesimi, ossia di $\frac{1}{20}$ del suo volume naturale.

Colladon e Sturm nelle loro esperienze sul piezometro, poterono costatare che i liquidi hanno una perfetta elasticità, poichè ritornano con estrema esattezza al loro primitivo volume quando si cessa di comprimerli.

L'elasticità dei liquidi può anche costatarsi allorquando sono ridotti in piccoli globuli. Così per esempio allorquando un globulo di mercurio è posto sopra un piano orizzontale, e vi si comprime, vedesi tosto cambiar di forma ed appiattarsi, ma ritorna immediatamente alla forma sferica, tosto

che si cessa la compressione. Parimente, allorquando un globulo di mercurio urta con forza la superficie di un solido, ne è respinto in distanza. Si hanno pure dei segni di elasticità nello spruzzare dell'acqua, allorquando cade da una certa altezza sopra un piano qualunque.

Idrostatica. L'oggetto dell'idrostatica è di determinare le condizioni d'equilibrio dei liquidi e le pressioni che esercitano sulle pareti dei vasi che li contengono.

Più forze agiscono permanentemente sopra i liquidi: l'attrazione molecolare e la forza repulsiva del calore che costituiscono lo stato liquido; la gravità che opera su di essi come su tutti gli altri corpi. Noi possiamo immaginare una massa liquida non soggetta all'azione della gravità: questa massa non potrebbe più cadere abbandonata a sè, nè scolare quando si versasse, ed è evidente che non avrebbe più bisogno per rimanere in riposo, di essere sostenuta sul suolo, o contenuta in un vaso. Esaminiamo il modo con cui in queste date circostanze si trasmetterebbe in essa l'azione di una pressione qualunque esercitata sulla sua superficie. È un principio generalmente ammesso, come risultato di una costante osservazione, quello conosciuto col nome di *principio dell'eguaglianza di pressione*, e che serve di fondamento alla teoria dell'equilibrio dei liquidi. Ecco in che consiste. Consideriamo una massa liquida contenuta in un vaso di forma qualunque, e supponiamola senza peso. Sulle diverse facce di questo vaso trovinsi delle aperture munite di un corpo di pompa (*Tav. III, Fig. 89*), e ognuna di esse sia chiusa da uno stantuffo. Applicando una forza qualunque diretta dal di fuori al di dentro ad uno degli stantuffi, il liquido trasmette questa forza in senso contrario e in modo completo, sopra ogni faccia anteriore degli altri stantuffi, dimodochè supposti questi di un'egual superficie, rimarrebbero in equilibrio applicando a tutti la stessa forza; ed il liquido avrebbe così trasmesso in tutti i punti della sua superficie ed egualmente, la forza sopra uno di questi applicata.

Può dimostrarsi approssimativamente questo principio con un esperimento assai semplice. S'immagini un cilindro *AB* (*Tav. III, Fig. 90*) nel quale si muova lo stantuffo *M*. Sia il cilindro terminato da una sfera *C* fornita di un gran numero

di piccoli tubi applicati perpendicolarmente alla sua superficie. Piena la sfera ed il cilindro di acqua, se si abbasserà lo stantuffo, si vedrà l'acqua escire dai tubi in tutte le direzioni; per cui dovrà ammettersi che la pressione applicata immediatamente per mezzo dello stantuffo sulla superficie del liquido siasi trasmessa egualmente in tutte le direzioni. Nello stesso modo un corpo fragilissimo e sottilissimo, come sarebbe un guscio d'uovo, non si rompe, non si piega, per quanto sia grande la pressione che si fa subire al liquido in cui è immerso. Ciò non potrebbe accadere se non fosse premuto per ogni verso egualmente, in guisa che gli effetti delle pressioni opposte si distruggano.

Adunque i liquidi trasmettono in tutti sensi ed egualmente, le pressioni che si esercitano sulla loro superficie. Perciò la pressione esercitata da un liquido sopra una superficie è eguale su tutti i punti della medesima, e quindi è proporzionale alla grandezza della sua area. Questo fatto ci permette di moltiplicare a volontà una data pressione che si esercita per mezzo di un liquido sopra una superficie; basterà per questo d'ingrandire quest'ultima in proporzione. Così per esempio, si abbia un vaso pieno di acqua, munito di due fori di grandezza diversa, e chiusi da degli stantuffi. Abbia uno di questi una ampiezza 100 volte maggiore dell'altro; supponiamo di esercitare una pressione qualunque sullo stantuffo del piccolo foro: è chiaro che lo stantuffo del grande subirà una pressione cento volte maggiore, e quindi per l'equilibrio bisognerà applicarvi una forza cento volte più grande. Abbiamo anche in questo caso un esempio di una forza piccola che può fare equilibrio ad una grande, ma la *quantità di lavoro* anche adesso non è accresciuta. Il piccolo stantuffo avrà fatto una corsa cento volte maggiore di quella fatta dal grande, dimodochè le corse degli stantuffi sono in ragione inversa della pressione che subiscono, ed i prodotti della lunghezza della corsa per la pressione sono eguali per ambedue.

Equilibrio di una massa liquida non sottoposta ad alcuna azione estranea. Consideriamo una massa liquida su cui non agisca altra forza che l'attrazione delle sue molecole fra loro. Molecole assolutamente mobili, e che tutte si attirano egual-

mente in tutti i sensi non possono nel riunirsi dare origine che ad una massa di forma sferica, poichè non v'è ragione per la quale la figura che prende la massa sia disposta in un senso piuttosto che in un altro; e non v'è che la forma sferica che soddisfi a questa condizione di simetria di azione per tutti i sensi. Si può riconoscere coll'esperienza questa tendenza dei liquidi a prendere la forma sferica. Infatti, alla superficie della terra, la forma che prende una massa liquida dipende dall'azione reciproca delle sue parti e dalla gravità; ora a misura che la massa diminuisce, il peso diminuendo nello stesso rapporto deve avere una influenza decrescente, e in conseguenza la massa deve prendere una forma sempre più vicina a quella che prenderebbe se fosse completamente sottratta all'azione dell'attrazione terrestre. Ora delle piccole gocce di mercurio fatte cadere sopra un piano qualunque su cui non aderiscano, si vedono prendere la forma sferica. Lo stesso accade a delle piccole gocce di acqua gettate sopra un piano unto, su cui non possono aderire. Se le gocce si fanno più considerevoli si schiacciano in grazia dell'azione della gravità.

Equilibrio dei liquidi pesanti. Vi sono due condizioni di equilibrio pei liquidi: bisogna primieramente che le molecole superiori e libere formino una superficie perpendicolare alla direzione della gravità, e in secondo luogo, che una molecola qualunque della massa provi in tutti i sensi delle pressioni eguali e contrarie.

Affinchè una molecola qualunque della superficie libera di un liquido possa essere in equilibrio, conviene che come è egualmente premuta dalle molecole laterali, essa le preme pure egualmente. Bisogna adunque che la gravità da cui è animata, e per cui preme, abbia tal direzione che possa decomorsi in due componenti perfettamente eguali e dirette secondo le molecole laterali della superficie. Ma per questo è necessario che non sia inclinata più verso l'una che verso l'altra delle due molecole, senza di che le due componenti non sarebbero più eguali; convien dunque che le tre molecole contigue della superficie presa in considerazione sieno poste sopra una linea perpendicolare alla direzione della gravi-

tà, e quindi che la superficie stessa sia normale a questa direzione.

Dee dunque la superficie libera di un liquido in equilibrio essere orizzontale; perciò nel caso che il rapporto dell'ampiezza del recipiente al raggio terrestre sia trascurabile, le direzioni della gravità di tutte le molecole saranno sensibilmente parallele, ma ove sia notabile saranno convergenti. Quindi la superficie di un liquido è piana in un piccolo recipiente, curva in un ampio recipiente. Picard calcolò che sulla superficie terrestre, per uno spazio di cento tese, la curvatura del livello di un fluido non differisce da un piano che di una linea e mezzo; cioè se BC (*Tav. IV, Fig. 92*) indichi il livello, BD la tangente, sarà DC eguale ad una linea e $\frac{1}{2}$, supposto BD eguale a cento tese. Perciò in un piccolo tratto di mare o di lago, il livello dell'acqua può considerarsi come un piano geometrico.

Quando le molecole liquide sono sollecitate da alcun'altra forza oltre la gravità, si concepisce facilmente che per l'equilibrio non debbono più formare una superficie perpendicolare alla sola gravità, ma una superficie perpendicolare alla risultante della gravità e di tutte le altre forze che agiscono contemporaneamente. Così la forza centrifuga che resulta dal movimento rotatorio della terra, combinandosi incessantemente alla gravità per animare i corpi, conviene che la superficie delle acque si disponga in modo da essere perpendicolare alla risultante di queste due forze, ed ecco perchè la superficie del mare è schiacciata verso i poli. Difatti la pressione che provano le acque all'equatore per la gravità, è assai diminuita dalla forza centrifuga, e quindi assai minore che ai poli, ove la forza centrifuga è nulla. Quindi una massa liquida di forma sferica dovrà appiattarsi ai poli finchè l'aumento di pressione all'equatore, dovuto all'accumulazione di materia, compensi la forza centrifuga. Al piede delle grandi montagne, di cui la massa è capace di deviare il filo a piombo, la superficie delle acque non è più perpendicolare alla direzione della gravità, ma si solleva e s'inclina sulla vera verticale, per disporsi perpendicolarmente alla risultante delle azioni della terra e della montagna. Nello stesso modo avviene

che pel passaggio della luna al di sopra e al di sotto dell'orizzonte del mare, la forza attrattiva che la sua massa esercita sulle acque, si combini colla gravità per produrre una risultante che non è più verticale; da ciò dipende il sollevarsi e il deprimersi della superficie mobile del mare, che per le rotazioni della luna si succedono regolarmente producendo la oscillazione periodica del flusso e riflusso.

La seconda condizione d'equilibrio dei liquidi è evidente da per sè stessa, poichè le molecole che sono nell'interno della massa liquida ricevono le pressioni di tutte le molecole che sono poste al disopra di esse, e in virtù del principio dell'eguaglianza di pressione tendono a trasmetterle in tutti i sensi: ora se in due direzioni opposte, le pressioni che sopporta una molecola non fossero eguali e contrarie, questa molecola sarebbe spinta dalla pressione maggiore, e in conseguenza la massa liquida non sarebbe più in equilibrio.

Equilibrio di una massa composta di varj liquidi di differente densità. Ciascuno di questi liquidi risentendo l'azione della gravità dovrà obbedire alla comune legge d'equilibrio e disporre la sua superficie perpendicolarmente alla direzione della gravità. Perciò le loro superfici dovranno essere tutte orizzontali, e i varj liquidi dovranno quindi disporsi in strati paralleli; ed affinchè l'equilibrio sia stabile bisogna necessariamente che gli strati più densi sieno nella parte inferiore, giacchè allora soltanto il centro di gravità sarà il più basso possibile, nella qual condizione abbiamo visto consistere la stabilità dell'equilibrio dei corpi pesanti.

Pressioni esercitate dalle masse liquide. Quando le masse liquide sono in equilibrio, esercitano in virtù del loro peso delle pressioni considerevoli sulle pareti dei vasi che le contengono. Prima di valutare queste pressioni sulle pareti dei recipienti, esaminiamo come esse distribuisconsi nell'interno delle masse stesse, cioè a dire sopra le loro molecole. Egli è facile d'intendere che la pressione dovuta all'azione della gravità dev'esser varia alle diverse altezze della massa liquida.

Se si prende a considerare in una massa liquida un filetto verticale liquido, la molecola di questo filetto immediatamente sottoposta alla molecola della superficie libera, deve, per impedirne la caduta, resistere al suo peso; la molecola che succederà dovrà resistere al peso delle due sovrapposte, e così di seguito, cosicchè scendendo a mano a mano lungo il filetto, le molecole che s'incontreranno supporteranno sempre maggiori pressioni. Siccome la massa liquida presa in esame può considerarsi formata dalla riunione di un gran numero di filetti liquidi eguali al precedente, ne segue che tutti i punti di uno strato orizzontale della medesima sopportano la stessa pressione, la quale pel principio dell'eguaglianza di trasmissione si distribuisce egualmente in tutti i sensi. Ma qual'è questa pressione e come può misurarsi? S'introduca un tubo di vetro, di metallo, di legno o di qualunque altra materia, aperto alle sue due estremità, in una massa liquida: si osserva che nel tubo il liquido ha lo stesso livello che ha il liquido circondante. Poichè la colonna liquida contenuta nel tubo tende pel suo peso a cadere, e non di meno rimane in equilibrio, ciò significa che un ostacolo si oppone alla sua caduta, e quest'ostacolo proviene dalla pressione che esercita su di essa il resto della massa liquida. La pressione sullo strato inferiore della colonna liquida contenuta nel tubo deve perciò essere eguale al peso della colonna stessa, e diretta in senso contrario. Ma il peso di questa colonna è determinato dall'ampiezza dell'orifizio del tubo, e dall'altezza della colonna medesima, dunque *la pressione che sopporta uno strato qualunque orizzontale di una massa liquida è eguale al peso di una colonna liquida verticale che ha per base la superficie dello strato liquido, e per altezza la distanza dalla superficie di livello.*

Da questo principio se ne dedurrà facilmente la pressione che un liquido esercita contro il fondo del vaso che lo contiene. Difatti, ritornando all'esempio del tubo immerso in una massa liquida, e nel quale il liquido interno è allo stesso livello che il liquido esterno, è certo che se allo strato orizzontale che trovasi all'orifizio inferiore di questo tubo si sostituisse un fondo solido, questo fondo sopporterebbe esattamente la stessa pressione. Ciò può anche provarsi coll'esperienza.

Si prenda un tubo aperto alle due estremità (*Tav. IV, Fig. 93*), e si applichi contro l'orifizio inferiore una lastra metallica o di vetro, che lo chiuda esattamente. Così disposto s'introduca in una massa liquida. Per poco che il tubo sia immerso è inutile continuare a sostenere il fondo posticcio, perchè il liquido che circonda il tubo esercita contro di esso una pressione diretta di basso in alto. Questa pressione cresce sempre a misura che s'immerge maggiormente il tubo, e può provarsi facilmente che è misurata in tutti i punti dal peso della colonna liquida che vi si troverebbe se il tubo non avesse fondo. Difatti si versi dell'acqua nell'interno del medesimo: si osserverà che a qualunque profondità si tenga il tubo, al momento in cui il liquido interno si troverà allo stesso livello dell'esterno il fondo posticcio si distaccherà e cadrà. Ciò significa che allora soltanto le pressioni del liquido esterno e dell'interno si fanno equilibrio, e che il fondo cade in virtù del proprio peso. Al liquido che si versa nell'interno del tubo si possono sostituire dei pesi che lo equivalgano, e si otterranno gli stessi risultati. Allorquando il peso introdotto nel tubo sarà eguale a quello della colonna liquida che farebbe equilibrio alla pressione del liquido esterno, il fondo posticcio cadrà.

Adunque la pressione che un liquido esercita sul fondo del vaso che lo contiene è eguale al peso della colonna liquida che ha per base il fondo stesso, e per altezza la distanza dal fondo alla superficie di livello.

Questa pressione è per uno stesso liquido indipendente dalla forma del vaso, purchè la base del medesimo e l'altezza del medesimo si conservino costanti. Ciò si dimostra per mezzo di un apparecchio assai semplice immaginato da Pascal, il quale consiste in una cassa di legno *ABCD* (*Tav. IV, Fig. 94*), su cui è fisso un cilindro di ottone *EFGH*, nel quale si muove liberamente uno stantuffo *MN* sostenuto da un cordone all'estremità dell'asta di una specie di bilancia. Sopra questo cilindro si montano a vite vasi di forma diversa, e si empiono di acqua; e si misura, col peso che si è costretti di porre nel bacino *P* per sostenere lo stantuffo, la pressione che il liquido esercita sulla base comune di tutti questi vasi. Ora si osserva che allor-

quando il liquido giunge in tutti questi vasi alla stessa altezza, il peso aggiunto al bacino è sempre lo stesso, e che appena si aggiunge una piccolissima quantità di acqua a ciascuno dei vasi, lo stantuffo cade per l'eccesso di pressione.

Questa esperienza si suol fare con dei vasi che hanno le forme rappresentate dalla figura 95.

Adunque la pressione sullo stesso fondo è sempre la stessa, sia che il vaso contenga molto liquido, sia che ne contenga pochissimo; perciò essa potrà esser maggiore, minore o eguale al peso del liquido contenuto. È eguale se il vaso ha le pareti laterali perpendicolari alla base, come pel cilindro, pel prisma retto ec.; è maggiore se il vaso si stringe in alto; è minore se si allarga. Si deduce da ciò che con una certa quantità di liquido, si potrà esercitare sopra una data base una pressione variabilissima, la quale sarà tanto maggiore quanto maggiore sarà l'altezza che si darà al vaso. Così, con un litro d'acqua che pesa un chilogrammo si può esercitare sul fondo di un vaso una pressione piccolissima, e se ne può anche esercitare una grandissima. Onde la pressione sia di un chilogrammo basta prendere un vaso cilindrico di base qualunque; la pressione totale sarà sempre eguale al peso del liquido, e quindi sempre di un chilogrammo; solamente, la pressione su ciascun centimetro quadro del fondo sarà più piccola o più grande, secondo che il vaso sarà più o meno grande. Onde la pressione sia di $\frac{1}{10}$ di chilogrammo, basterà prendere un vaso di cui la base sia, per esempio, un decimetro quadro, e che vada talmente allargandosi che l'altezza del liquido sia di $\frac{1}{10}$ di decimetro, ossia un centimetro. Onde la pressione sia di 10 chilogrammi, converrà prendere un vaso, di cui la base sia un decimetro quadro, e talmente ristretto che il litro di acqua vi prenda un'altezza di 10 decimetri; ossia di un metro.

Onde ben concepire come avvenga che una stessa quantità di liquido possa esercitare pressioni tanto diverse sopra uno stesso fluido, cosa che ad un tratto sembra un paradosso, soffermiamoci a considerare i vasi, in cui abbiamo dimostrato il fatto, cominciando da quello che va restringendosi in alto. In ogni strato orizzontale del liquido contenuto in questo

vaso la pressione che soffrono tutte le molecole è la stessa, per cui quella molecola che è contigua alla parete soffre, per la resistenza della parete, una pressione eguale a quella di tutte le altre del suo strato, cioè a dire una pressione eguale a quella che soffrirebbe se le sovrastasse una colonna liquida alta quanto lo è il liquido nel vaso. Preme perciò le molecole sottoposte e quindi il fondo, come se avesse il liquido sopra di sé. Al contrario se la figura del vaso è tale che si allarghi in alto, e che le sue pareti divergano dal fondo, è chiaro che quelle molecole, di cui la verticale cade sulle pareti laterali inclinate, premeranno su queste e non sul fondo. Vedesi da ciò che precede che per mezzo d'una piccolissima quantità d'acqua è facile produrre un'enorme pressione, disponendo al di sopra d'una larghissima base, un tubo lungo e strettissimo che si riempie di liquido. Si giunge in questa guisa a fare scoppiare una botte piena di liquido, introducendo nella sua parte superiore un tubo strettissimo ed assai lungo, nel quale si versi dell'acqua.

Pressione dei liquidi contro le pareti laterali dei vasi. Le pressioni laterali si deducono dalle pressioni orizzontali corrispondenti, per mezzo del principio d'eguaglianza di pressione. Difatti il punto *m* (Tav. IV, Fig. 96) facendo parte dello strato orizzontale *mp*, questo strato gli trasmette la pressione che sopporta esso stesso: esso la trasmette egualmente in ogni senso; quindi il punto *m* è premuto normalmente con quella stessa pressione che soffre in tutti i punti lo strato *mp*. Ciò posto concepiamo una porzione di una parete laterale divisa in un gran numero di elementi infinitamente piccoli, per modo che si possano riguardare tutti i suoi punti come egualmente distanti dalla superficie del liquido: la pressione totale provata da questa porzione di parete sarà eguale alla somma dei pesi di tanti cilindri liquidi quanti sono gli elementi che la compongono, aventi per base gli elementi stessi, e per altezza la distanza loro dalla superficie di livello, somma evidentemente eguale al peso di un cilindro liquido avente per base la superficie totale della porzione di parete e per altezza la distanza dalla superficie del liquido a ciascuno degli

elementi supposti. Ma in realtà i varj punti di questa porzione di parete non sono egualmente distanti dal livello del liquido. I più profondi sono più distanti e quindi più premuti. Perciò la pressione totale che sopporterà questa porzione di parete sarà eguale alla colonna liquida che abbia per base la superficie totale di questa porzione di parete, e per altezza la distanza media di tutti i suoi punti dalla superficie del liquido. Questa distanza media si trova colla meccanica eguale in ogni caso, alla distanza del centro di gravità della parete dalla superficie di livello.

Adunque la pressione che sopporta una parete laterale è eguale al peso di una colonna liquida che avesse per altezza verticale la distanza del centro di gravità della parete dalla superficie di livello, e per base orizzontale una superficie eguale alla parete stessa.

Centro di pressione. È spesso necessario di conoscere non solo il valore totale della pressione esercitata contro una estensione qualunque della parete di un vaso, ma ancora il punto di applicazione della risultante delle pressioni parziali che la producono; giacchè questo punto è quello al quale converrebbe applicare una forza perpendicolare alla superficie, ed eguale alla totalità della pressione, per farle equilibrio. Questo punto porta il nome di *centro di pressione*.

È evidente che se le pressioni esercitate sui varj punti della parete fossero costanti a tutte le altezze e quindi eguali fra loro, il centro di pressione coinciderebbe col centro di gravità della parete; ma invece le pressioni aumentano colla profondità, e perciò il centro di pressione è sempre più basso del centro di gravità.

Equilibrio dei liquidi nei vasi comunicanti. Sieno *A* e *B* (Tav. IV, Fig. 97) due vasi di forma qualunque che comunichino fra loro per mezzo del canale inferiore *CD*, e ripieni di un liquido omogeneo. Se noi immaginiamo in questo canale una parete verticale mobile *mn*, è evidente che l'equilibrio non potrà sussistere finchè questa parete mobile non sarà egualmente premuta sulle sue facce. Ora il liquido racchiuso in ciascuno dei vasi essendo omogeneo, esercita sopra *mn* una pressione orizzontale che dipende unicamente dall'altezza del

livello del liquido al di sopra del centro di gravità di questa parete; dunque l'equilibrio non può sussistere nei vasi *B* e *A*, se non quando i loro livelli sono alla stessa altezza, qualunque sieno poi le forme e le dimensioni relative dei vasi.

È evidente che questa condizione di equilibrio deve appartenere egualmente a un numero qualunque di vasi comunicanti, pieni di un liquido omogeneo. Si può facilmente verificare questa legge per mezzo dell'apparecchio rappresentato dalla figura 98 della *Tav. IV*. *A* è un vaso di vetro di una grande capacità, munito inferiormente di un tubo orizzontale, sul quale sono fissati dei tubi di vetro *B*, *C*, *D*, di dimensioni e forme prese ad arbitrio. Introducendo dell'acqua o un liquido qualunque per uno di questi tubi, si vedrà salire in tutti allo stesso livello. Se uno dei tubi, qual sarebbe *D*, è assai corto, il liquido si slancia al di fuori per l'apertura del tubo per raggiungere il livello degli altri vasi, ma non vi giunge mai esattamente per una ragione che vedremo in seguito.

Questo apparecchio mette in evidenza un fatto importante, cioè a dire la possibilità di fare equilibrio ad una massa grandissima di liquido contenuta in un vasto recipiente, con una piccolissima quantità del medesimo contenuta in un tubo assai stretto. Difatti la quantità di liquido contenuta nel tubo *B* fa equilibrio a quella contenuta nel vaso *A*. Su questo principio, che è conosciuto col nome di *paradosso idraulico*, è fondata la costruzione della *pressa idraulica*. Difatti supponiamo applicati ai due vasi comunicanti *A* e *B* due stantuffi, e supponiamo che il piccolo stantuffo *B* prema sul liquido con una forza eguale a 100 chilogrammi: il grande stantuffo, che supporremo di una base 10 volte maggiore, sarà sollevato con una forza di 1000 chilogrammi, talchè un corpo interposto fra il piano superiore di questo stantuffo ed un ostacolo fisso sopporterà tutta questa pressione. La pressa idraulica sarà da noi più dettagliatamente descritta, allorquando avremo esposta la teoria delle trombe, le quali hanno parte nella costruzione di questa macchina.

In tutto ciò che precede noi abbiamo supposto che il liquido fosse omogeneo; se fosse altrimenti le condizioni di equilibrio non sarebbero più le stesse. Infatti se i vasi *A* e *B* con-

tengono dei liquidi d'inequal densità separati dalla parete *mn* (*Tav. IV, Fig. 97*) la pressione che essa prova da ciascuno di essi è eguale al peso della colonna di questo fluido che avrebbe per base l'estensione di questa parete e per altezza la distanza del suo centro di gravità dal livello, e i pesi di queste colonne sono evidentemente proporzionali alle loro altezze e alle densità dei liquidi. Ora poichè per l'equilibrio i pesi delle due colonne devono essere perfettamente eguali, ne segue che *le altezze delle colonne devono essere in ragione inversa della densità dei liquidi.*

Si può verificare questa legge per mezzo di un tubo di vetro piegato ad *U*, nel quale una colonna di mercurio contenuta in uno dei bracci ed alta un pollice, fa equilibrio ad una colonna di acqua contenuta nell'altro braccio ed alta circa 14 pollici; ed appunto il mercurio è circa 14 volte più denso dell'acqua.

Equilibrio dei corpi immersi. Quando s'immerge un corpo solido in un liquido esso occupa un certo spazio e quindi sposta un volume di liquido eguale al suo. Perciò il liquido nel quale egli è immerso esercita contro la sua faccia inferiore una pressione di basso in alto, la quale è eguale al peso della colonna liquida contro cui si esercitava prima che vi fosse immerso il corpo solido. Ma questa colonna liquida ha esattamente lo stesso volume del corpo; dunque la pressione di basso in alto che questo subisce è eguale al peso di un volume eguale al suo del liquido in cui è immerso. Questo è il famoso principio scoperto da Archimede, che si annuncia in questi termini: *un corpo immerso in un liquido perde una porzione del suo peso eguale al peso del liquido che sposta.* E di fatti, quella spinta della massa liquida o pressione di basso in alto, si esercita in direzione contraria a quella della gravità, e perciò 'deve distruggere una porzione del peso del corpo.

Il principio d'Archimede si dimostra sperimentalmente per mezzo della *bilancia idrostatica*. Consiste in una bilancia comune che ha degli uncini fissi nella parte inferiore dei suoi piatti. *A B* e (*Tav. IV, Fig. 99*) sono due cilindri di metallo

sospesi l'uno al di sotto dell'altro, ad un piatto della bilancia. Il cilindro *B* è massiccio, l'altro *A* è una specie di secchio, di cui l'interna capacità è esattamente eguale al volume del cilindro pieno *B*: in una parola *B* entra esattamente in *A*. Si comincia dal pesare i due cilindri così sospesi l'uno al di sotto dell'altro, e stabilito l'equilibrio si fa pescare nell'acqua il cilindro *B*. Immediatamente la bilancia trabocca dalla parte dei pesi: il cilindro immerso ha perduto una porzione del suo peso, ed è facile provare per la disposizione descritta, che questa porzione perduta è esattamente eguale al peso di un volume d'acqua simile al volume del cilindro *B*. Basterà versare dell'acqua nel cilindro *A*, e tosto che sarà pieno, l'equilibrio della bilancia sarà di nuovo ristabilito. Si sarà così aggiunto un peso esattamente eguale a quello dell'acqua spostata dal cilindro immerso. Una palla di piombo ed una di avorio si fanno equilibrio sospese alla bilancia idrostatica finchè si pesano nell'aria, ma non si equilibrano più pesandole immerse ambedue nell'acqua, giacchè la palla di avorio per bilanciare la palla di piombo deve avere un volume assai maggiore di questa; perciò immersa nell'acqua, la palla di avorio, che ha maggior volume, perderà un peso maggiore. Se si torrà la palla di piombo e si sostituirà ad essa un peso minore, capace di fare equilibrio alla palla di avorio, mentre è immersa nell'acqua, se all'acqua si sostituirà dell'alcool o dell'olio, l'equilibrio non sussisterà più perchè l'alcool e l'olio pesando meno dell'acqua, il volume di questi liquidi scacciati dalla palla immersa peserà meno di un egual volume di acqua, e l'equilibrio sarà rotto.

Se la spinta che si esercita contro un corpo immerso distrugge intieramente il suo peso, il corpo rimane in equilibrio nel liquido senza bisogno di esser sostenuto. Ciò accade quando il peso del corpo è eguale al peso del liquido spostato, cioè a dire quando il corpo ed il liquido hanno la stessa densità. Difatti si osserva che un corpo della stessa densità del liquido nel quale è immerso sembra aver perduto tutto il suo peso. Un uovo messo nell'acqua un po' salsata può con qualche precauzione, rimaner sospeso nel mezzo del liquido. Lo stesso potrà accadere ad una massa di olio formata dalla

riunione di un certo numero di gocce di questo liquido, in un miscuglio di acqua e di alcool convenientemente dosato.

Per l'equilibrio del corpo sommerso si richiede ancora che le due forze applicate al corpo, cioè il peso e la spinta del fluido, si trovino nella stessa verticale, e quindi bisognerà che il centro di gravità del corpo e quello del fluido spostato soddisfino a questa condizione; e affinchè l'equilibrio sia stabile conviene inoltre che il centro di gravità del corpo sia nel punto più basso possibile. Le due prime condizioni risultano evidentemente da ciò, che il peso del corpo e la spinta del fluido sono due forze parallele e contrarie, le quali non possono distruggersi, se non quando sono eguali e dirette secondo la stessa linea retta. In quanto alla condizione di stabilità, risulta dal principio che il centro di gravità di un corpo tende sempre a discendere più in basso che può.

I corpi meno densi del liquido in cui vengono immersi salgono a galla in virtù dell'eccesso del peso che il liquido scaccia ha sul loro proprio peso. Giunti alla superficie galleggiano, perchè a distruggere il loro peso basta solo che una porzione di essi sia immersa. *Un corpo galleggiante, scaccia adunque un volume di liquido, il cui peso è eguale al suo.* Perciò il ferro, il rame, il marmo ec., galleggiano sul mercurio; e del pari galleggiano sui metalli fusi le scorie, mentre che pochissimi sono i corpi che galleggiano sull'alcool e sull'etere, che sono fra i liquidi più leggieri. In generale ogni corpo potrebbe galleggiare sopra un liquido purchè avesse una forma conveniente, cioè che contenesse poca massa in un grande volume. Così una tazza d'argento, una sfera di rame vuota, un yascello di ferro possono galleggiare sull'acqua. Affinchè un corpo galleggi bisogna che il centro di gravità di questo corpo ed il centro di gravità dell'acqua scacciata sieno sulla stessa verticale. Se il primo di questi punti è più basso del secondo, il corpo galleggia in una maniera stabile; nel secondo caso dovrà capovolgersi al più leggero movimento. È per questa ragione che i bastimenti poco carichi, per maggior sicurezza si zavorrano, onde far discendere il loro centro di gravità. Più il centro di gravità è basso, e più stabilmente galleggia

un corpo. Un corpo galleggiante spostato dal suo equilibrio stabile, dopo varie oscillazioni vi ritorna. Un bastimento galleggiante sul mare, a tutto rigore non conserva nemmeno per un istante il suo stato di equilibrio stabile, ma fa delle continue oscillazioni intorno a tal posizione.

Determinazione della densità o peso specifico dei corpi solidi e liquidi. Stabilite così le condizioni principali dell'equilibrio dei corpi immersi, ci sarà facile intendere il modo col quale si giunge a determinare la densità dei corpi solidi e liquidi.

Si disse che per densità di un corpo s'intendeva il rapporto tra il suo peso ed il suo volume, e che le densità dei varj corpi avrebbero potuto stabilirsi, determinando il peso di volumi eguali dei varj corpi; che però i fisici aveano stabilito una unità di misura per la densità dei corpi solidi e dei liquidi, la quale consisteva nel peso di un determinato volume di acqua, a cui riferivansi i pesi di eguali volumi dei differenti corpi; e che infine ciò poteva semplicizzarsi, determinando il peso assoluto dei corpi presi sotto qualunque volume, quindi il peso assoluto di un volume eguale al loro di acqua, e stabilendo il rapporto fra questi due pesi.

Noi sappiamo ora come ottenere il peso di un volume di acqua eguale a quello di un corpo solido qualunque: lo pesiamo prima nell'aria; poi sospeso con un filo sottilissimo all'uncino della bilancia idrostatica, lo pesiamo immerso nell'acqua. La diminuzione di peso che egli soffre in questa seconda pesata, è appunto il peso del volume d'acqua eguale al suo volume. Allora non ci resta che a dividere il peso assoluto del corpo per il peso che ha perduto essendo immerso nell'acqua per ottenere la densità del corpo riferita a quella dell'acqua, presa per unità, ossia il suo peso specifico. Siccome la densità dei corpi varia colla temperatura, e quella dell'acqua anche in ragione della natura e della quantità delle sostanze che tiene disciolte, si è convenuto di prendere acqua distillata ed alla temperatura di 4° , che corrisponde al suo massimo di densità, e i corpi a 0° . Ci possiamo servire anche della bilancia ordinaria. Si pesa prima il corpo nell'aria, poi nell'acqua, sospendendolo al piatto della bilancia con un filo finissimo.

Invece della bilancia idrostatica o della bilancia ordinaria si usa anche per la determinazione dei pesi specifici, la così detta bilancia di Nicholson. Consiste quest'apparecchio in un cilindro metallico vuoto $ABCD$ (Tav. IV, Fig. 100) terminato superiormente e inferiormente da due coni EAB e FCD . Il primo porta un'asta metallica EG terminata dalla capsula MN : alla estremità del secondo è sospesa liberamente una capsula P piena di piombo. Quest'apparecchio immerso nell'acqua verticalmente, trovasi in equilibrio stabile, e il peso posto in basso è tale che lo fa immergere fino alla linea ab : si traccia sull'asta EG un punto o che serve a darci un punto fisso d'immersione. Allorché si vuole con quest'apparecchio avere il peso specifico di un corpo, si comincia dal determinare il peso di cui deve esser caricato il piatto MN della bilancia, perchè s'immerga fino al punto o : si tolgono allora i pesi, si mette il corpo di cui si cerca il peso specifico, e insieme vi si aggiungono tanti pesi quanti ne occorrono perchè l'apparecchio s'immerga fino al punto o . È chiaro che la differenza dei pesi impiegati in queste due operazioni, ci dà esattamente il peso del corpo, come potrebbe aversi da una bilancia comune. Si passa allora il corpo nella capsula inferiore, e s'immerge di nuovo l'apparecchio nell'acqua. È certo che il punto o uscirà fuori del liquido, e il peso che si dovrà aggiungere sul piatto MN , onde l'apparecchio s'immerga sino ad o , sarà il peso di un volume d'acqua eguale a quello del corpo.

Quando si vuol determinare il peso specifico dei corpi ridotti in polvere, si prende un piccolo recipiente di vetro con turacciolo smerigliato, si empie di acqua, e postolo insieme al corpo sopra un piatto della bilancia, si pone in equilibrio con corpi qualunque posti nell'altro piatto. Ciò fatto s'introdurrà il corpo in polvere nella bocchetta che si richiuderà poi esattamente dopo averla bene asciugata. Si aggiungeranno a questo piatto alcuni pesi per ristabilire l'equilibrio; ed è certo che questi rappresenteranno il peso della acqua uscita, e quindi il peso di un volume d'acqua eguale a quello del corpo. Importa assai che il turacciolo abbia una piccola scanalatura, da cui possa liberamente uscire l'eccesso dell'acqua, senza di che non si sarebbe certi

che il turacciolo arrivasse sempre allo stesso punto. In questa determinazione è necessaria una precauzione, consistente nel liberare le particelle del corpo dall'aria interposta. Vi si riesce in due modi, o ponendo il recipiente pieno d'acqua. in cui già s'introdusse la polvere, nel vuoto della macchina pneumatica, ovvero facendo bollire l'acqua in cui è immersa la polvere.

Quando si tratta della determinazione del peso specifico dei corpi più leggieri dell'acqua, volendo adoprare la bilancia di Nicholson o la bilancia idrostatica, si aggiunge alla capsula inferiore o all'uncino della bilancia, una specie di rete concava verso il basso, nella quale si dispone il corpo, e s'immerge nell'acqua senza timore che ne esca.

Se i corpi di cui si vuol trovare il peso specifico si sciolgono nell'acqua o vi si decompongono, si determina la densità del corpo relativamente ad un liquido in cui non si alteri, e moltiplicando questa densità per quella già nota del nuovo liquido adoprato, si ottiene la densità del corpo rispetto all'acqua, come si sarebbe ottenuta potendolo pesare in questo liquido. Difatti sia P il peso del corpo, P' il peso di un egual volume del nuovo liquido adoprato, P'' il peso di un egual volume d'acqua, D la densità che si cerca, D' la densità del corpo trovata rispetto al nuovo liquido, D'' la densità di questo liquido; si avrà

$$D = \frac{P}{P''}, D' = \frac{P}{P'}, D'' = \frac{P'}{P''}, \text{ ma}$$

$$P = D' \times P' \text{ e } P' = \frac{P}{D'}; \text{ dunque}$$

$$D = D' \times D''$$

Determinazione del peso specifico dei liquidi. Il metodo più facile per fare questa determinazione consiste nel pesare successivamente, vuoto e pieno di acqua stillata, un piccolo recipiente chiuso con un turacciolo di cristallo smerigliato, onde avere per differenza il peso del volume di acqua che contiene; quindi pesarlo nuovamente pieno del liquido di cui si vuol determinare il peso specifico, per avere parimente per differenza il peso del liquido. Ora in ciascuna di queste esperienze,

il matraccio essendo stato esattamente riempito, e il turacciolo di cristallo penetrando sempre fino allo stesso punto, il volume dell'acqua è eguale a quello del liquido; in conseguenza dividendo il peso di quest'ultimo per quello dell'acqua si otterrà il peso specifico cercato. È inutile accennare che allorché si rimpiazza l'acqua col liquido di cui si cerca la densità, il recipiente dev'essere bene sgocciolato, e quindi bene asciugato e disseccato quando dopo averlo riempito esattamente vi si pone il turacciolo.

Si usano spesso nel commercio, per riconoscere le densità dei liquidi, dei piccoli strumenti conosciuti col nome di *areometri* o *pesa liquori*. Gli areometri sono ordinariamente di vetro; sono composti di un tubo AB (Tav. IV, Fig. 101), chiuso alle due estremità e terminato da un rigonfiamento che ha al di sotto una piccola palla M piena di piombo o di mercurio, destinata a tenere in equilibrio in posizione verticale l'istrumento allorché è immerso in un liquido; il tubo AB contiene una scala graduata. Quando si pone questo istrumento in un liquido, esso immengesì tanto maggiormente quanto più il liquido è leggero, giacché tende a discendere con una forza eguale al suo peso, e a salire con una forza eguale a quella del volume del liquido spostato; conseguentemente affinché quest'ultima forza faccia equilibrio alla prima, che è costante, il volume del fluido spostato dovrà farsi tanto più grande quanto meno denso sarà il liquido. Il più semplice degli areometri consiste in un tubo AB (Fig. 102 Tav. IV), perfettamente cilindrico chiuso alle sue due estremità, e caricato di pesi in basso perchè si regga verticale in qualunque liquido. S'immerge questo tubo nell'acqua stillata e si segna 100 al punto in cui giunge al livello di questo liquido. Si divide la lunghezza immersa in 100 parti eguali, e questa divisione si prolunga anche al di sopra. Tale istrumento non solo ci serve a riconoscere un cambiamento qualunque nella densità dell'acqua, ma può anche darci il valore di questo cambiamento, cioè la densità del liquido in cui è immerso. Si supponga d'immergerlo in un liquido, nel quale giunga a pescare sino al 125°; ne risulta evidentemente che un volume d'acqua eguale a 100 pesa come un volume del.

l'altro liquido eguale a 125, poichè nei due casi questo peso è eguale a quello dell'istrumento. E siccome a pesi eguali, le densità sono in ragione inversa dei volumi, si avrà la densità del liquido dalla proporzione

$$125 : 100 :: 1 : x, \text{ da cui si ha } x = \frac{100}{125} = 0,80$$

Quest'apparecchio chiamasi *densimetro*. Non è adoprato in commercio perchè sarebbe incomodo a motivo della troppa lunghezza che converrebbe dare al tubo, acciò servisse per liquidi di una densità molto varia. Invece in commercio si adoperano degli istrumenti che non c'indicano la densità dei liquidi rispetto all'acqua, ma solamente se un liquido è più o meno denso di un altro. Sono graduati diversamente secondo l'uso a cui si destinano. L'areometro il più comune è quello di Beaumé. La sua graduazione si fa immergendo lo istrumento nell'acqua pura, segnando 0 nel punto in cui si ferma, e poi immergendolo in un altro liquido preparato sciogliendo 15 parti di sal marino bene asciutto in 85 parti di acqua. L'istrumento s'immerge meno in quest'ultimo liquido. Beaumé divide lo spazio compreso fra i due punti d'immersione in 15 parti eguali, e prolunga la scala al di sotto, in modo che quanto più il liquido è denso tanto è maggiore il numero dei gradi indicati dall'areometro. Pei liquidi più leggieri dell'acqua il 10.º grado è determinato dalla immersione dell'istrumento nell'acqua stillata, e lo zero da una soluzione di sal marino composta di 90 parti di acqua e 10 di sale; la scala si prolunga al di sopra e al disotto di questa divisione. Nelle arti si fa uso di certi areometri che danno direttamente la densità di certi particolari miscugli, preso per termine di paragone un liquido normale. Così si hanno i pesa-sali, i pesa-acidi, i pesa-latte ec.

Per determinare la quantità di alcool e d'acqua contenute nell'acquavite, Gay-Lussac ha immaginato un areometro particolare, a cui ha dato il nome di *alcoolometro*. Ha la stessa forma degli altri, ma è graduato in questa guisa. S'immerge nell'alcool puro segnando 100 al punto in cui si ferma; si fanno in seguito dei miscugli con acqua ed alcool puro contenenti $\frac{9}{10}$, $\frac{8}{10}$, $\frac{7}{10}$ ec., del loro volume di alcool, e le gradua-

zioni si fanno segnando 90, 80, 70, nei punti in cui si ferma nei suddetti miscugli. Chiamando 100 il grado di purezza dell'acquavite sarà $\frac{90}{100}$ quando l'alcoolometro s'immergerà fino a 90°, sarà $\frac{80}{100}$ quando s'immergerà fino a 80°; o in altri termini il liquido conterrà nel primo caso 9 parti in volume di alcool ed una di acqua, e nel secondo 8 parti di alcool e due di acqua. Il pesa-spiriti di Cartier, è pure assai impiegato in commercio. Questo segna 0° nell'acqua pura, e 44° nell'alcool assoluto, e l'intervallo è diviso in 44 parti eguali.

*Quadro dei pesi specifici di alcuni corpi notissimi
essendo 1 quello dell'acqua.*

Platino	20,98	Allumina	0,82
Oro	19,26	Magnesia	0,34
Mercurio	13,57	Vetro di bottiglia	2,73
Piombo	11,35	Cristallo	2,89
Argento	10,47	Zolfo	1,99
Rame	8,89	Carbon fossile	1,32
Stagno	7,99	Carbone di legna	0,44
Ferro	7,78	Acqua stillata	1,00
Zinco	7,40	Acqua del mare	1,03
Diamante	3,52	Acqua del Mar-morto	1,24
Topazzo	4,01	Acido solforico	1,85
Granato	4,18	Acido nitrico	1,58
Smeraldo Peruviano	2,77	Acido idroclorico	1,19
Ametista Orientale	2,65	Alcool	0,80
Quarzo	2,55	Acquavite	0,84
Marmo di Carrara	2,71	Essenza di trementina	0,76
Pomice	0,91	Olio di lino	0,94
Calce	1,52		

Idrodinamica. L'idrodinamica ha per oggetto lo studio delle leggi del movimento dei liquidi, e forma conseguentemente uno dei rami più importanti della meccanica razionale. Ma in alcuni particolari casi i movimenti dei liquidi sono sottoposti a delle leggi assai semplici da poter essere direttamente verificate coll'esperienza; ed è sotto il punto di vista puramente sperimentale che noi indicheremo i principj dell'idrodinamica. Per ora ci limiteremo a considerare i fenomeni del

movimento dei liquidi indipendentemente dalla pressione dell'atmosfera in cui si operano.

Movimento di un liquido nell'interno del recipiente durante l'efflusso. Quando un vaso *ABCD* (Tav. IV, Fig. 103) aperto e pieno di liquido è traversato inferiormente da un piccolo orifizio, il liquido scola. Le molecole liquide si muovono verticalmente nell'interno del vaso fino a qualche centimetro dall'orifizio, ma al di là di questa distanza si dirigono verso di esso. Ciò può facilmente osservarsi ponendo nel liquido dei corpi di piccolissimo volume e di una densità poco diversa dalla sua; per es. nell'acqua della segatura di legno o della ceralacca polverizzata. Inoltre siccome deve sempre passare nello stesso tempo la stessa quantità di liquido per tutti gli strati orizzontali del vaso, ad ogni istante la velocità media varia in ognuno di essi in ragione inversa della sua superficie; e nel vaso rappresentato dalla figura 104 la velocità varia in tutti gli strati, ed è al suo massimo nei punti *a* e *b*, e al suo minimo al punto *c*.

Durante lo scolo, il liquido di un vaso non è sempre terminato da una superficie orizzontale. Quando il getto sorte verticalmente da un orifizio situato nel fondo di un vaso e che il livello è disceso ad una piccola distanza dall'orifizio, il liquido si allontana dall'asse di questo e forma un imbuto, l'apice del quale corrisponde al centro dell'orifizio medesimo (Tav. IV, Fig. 105). Se il liquido avesse nel vaso un movimento di rotazione, l'imbuto si formerebbe più presto, come anche se il vaso avesse la stessa forma. Se l'orifizio fosse laterale non si formerebbe più un imbuto, ma la superficie del liquido proverebbe invece una depressione al di sopra dell'orifizio (Tav. IV, Fig. 106).

Questi movimenti dipendono dalla forma dei vasi, dall'altezza del liquido, dalla dimensione e dalla forma dell'orifizio.

Efflusso dagli orifizj di sottili pareti. Costituzione della vena liquida. La forma e la costituzione delle vene liquide formate da orifizj praticati in sottili pareti, sono state studiate da Savart, del quale andiamo ad esporre le osservazioni principali. Ogni vena liquida lanciata verticalmente dall'alto al basso da un orifizio circolare praticato in una sottil parete

piana ed orizzontale subisce una contrazione a poca distanza dall'orifizio; cioè a dire, la sua sezione comincia allora a diminuire. Questa contrazione seguita fino ad un certo punto dove la vena nuovamente si dilata. La porzione della vena compresa fra l'orifizio ed il punto di sua massima contrazione è calma, limpida, trasparente e simile ad una verga di cristallo. La porzione della vena che succede a questa è sempre agitata, torba e prende una forma assai regolare, nella quale si distinguono una serie di rigonfiamenti allungati, il cui diametro massimo è sempre più grande del diametro dell'orifizio. La figura 107 rappresenta una vena liquida, quale apparisce quando si osserva: a ne è la parte limpida, n o n' è il principio della parte torba, la quale sembra comporsi di strozzature e di nodi alternati. In questa seconda parte della vena il liquido non è continuo, giacchè illuminando la vena con una luce istantanea qual sarebbe quella di una grossa scintilla elettrica, si vede formata di gocce staccate e di forma diversa. La continuità apparente della vena proviene da ciò che i globuli che la costituiscono si succedono nello stesso punto a degli intervalli di tempo più corti della durata di una sensazione sulla retina. La figura 108 rappresenta la vena fluida come è realmente; tutta la parte torba è composta di gocce distinte e separate le une dall'altre; i nodi essendo formati da delle larghe gocce schiacciate orizzontalmente, e le strozzature da delle gocce allungate nel senso verticale. Siccome succede che le strozzature ed i nodi occupano delle posizioni fisse, bisogna necessariamente che la stessa goccia a , che è schiacciata nei nodi, sia allungata quando giunge al punto in cui apparisce la prima strozzatura n' , che sia nuovamente piana al secondo nodo, allungata alla seconda strozzatura ec.; bisogna adunque che essa provi delle vibrazioni periodiche perfettamente regolari, che la facciano passare dall'una all'altra di queste forme. Tutte le gocce sembrano avere lo stesso diametro, e sembrano provare gli stessi cambiamenti.

Savart ha costatato che ogni goccia è prodotta da un rigonfiamento anulare che ha origine in molta vicinanza dell'orifizio e che si propaga sulla parte limpida della vena,

aumentando di volume fino al momento in cui se ne distacca. Questi rigonfiamenti sono prodotti da una successione periodica di pulsazioni. Il numero di queste pulsazioni è in ragion diretta della velocità di scolo, e in ragione inversa del diametro dell'orifizio. Questi rigonfiamenti allo staccarsi della vena producono le gocce che ne costituiscono la parte torba.

La costituzione delle vene lanciate orizzontalmente od anche obliquamente dal basso all'alto, non differisce essenzialmente da quella delle vene lanciate verticalmente dall'alto al basso; solamente il numero delle pulsazioni all'orifizio sembra divenire tanto minore, quanto più il getto si avvicina ad essere lanciato verticalmente dal basso all'alto.

Quando gli orifizj non sono circolari, la vena presenta dei cambiamenti di forma rimarchevolissimi. Per esempio da un orifizio quadro di 20 centimetri di lato, le sezioni della vena fatte alle distanze di 20, 30 e 40 centimetri sono rappresentate nella figura 109. Il numero 1 è l'orifizio, e i numeri 2, 3, 4 sono le sezioni della vena a 20, 30 e 40 centimetri dall'orifizio. La direzione della vena era orizzontale, perchè usciva da una parete verticale. Il punto *h* indica da per tutto la sua parte superiore.

Possiamo renderci conto abbastanza chiaramente della contrazione che prova la vena presso l'orifizio, e che sussiste qualunque sia la direzione del getto, ammettendo che all'orifizio stesso la velocità delle molecole sia varia, cioè maggiore per quelle del centro, e minore per quelle della circonferenza, venendo ivi diminuita dall'attrito contro le pareti del foro. Correndo più velocemente le molecole centrali dovrà la vena diminuire di diametro. Le direzioni estremamente variabili delle molecole che si rendono verso l'orifizio hanno pure indubitatamente una grande influenza sulla contrazione della vena.

Velocità dello scolo dagli orifizj praticati in sottili pareti.
Quando un liquido scola da un orifizio qualunque, la velocità nulla nel primo istante si accresce in un modo continuo durante un certo tempo, dopo il quale diviene uniforme se il livello rimane costante o diminuisce se il livello si abbassa. Si può facilmente riconoscere che la velocità va crescendo fin dall'origine del movimento, forando orizzontalmente un

vaso. Si osserva (*Tav. IV, Fig. 110*), che il getto si stende orizzontalmente e prende successivamente le curvature $A A' A''$. Nello stesso modo si vede, che dopo un certo tempo, allo abbassarsi del livello del liquido, la velocità va diminuendo.

Per osservare invece che la velocità del liquido effluente diviene costante dopo un certo tempo, quando il livello rimane costante, si può ricorrere ad apparecchi diversi. Il più comunemente adoprato è conosciuto coi nomi di *troppe pieno* e di *vaso a ribocco*. Consiste in una cassa o vaso qualunque $ABCD$ che ha un foro di efflusso o nel fondo e un altro foro d verso il suo margine superiore. In questo recipiente cade di continuo dal vaso alimentare R , per mezzo di una valvola s applicata sul tubo t , una quantità d'acqua maggiore di quella che esce dal foro inferiore, cadendo sopra una specie di graticola $c c'$ destinata a impedire ogni urto, ogni agitazione che potrebbe portare nella sua caduta alla massa liquida: l'eccesso dell'acqua scola dal foro superiore d . (*Tav. IV, Fig. 111*).

Si adopra anche il galleggiante di Prony, il quale si compone di un vaso di scolo V (*Tav. IV, Fig. 112*) e di due casse, una delle quali C galleggia sul liquido che scola, e l'altra C' unita con verghe di ferro alla cassa galleggiante è posta al di sotto del vaso di scolo e riceve tutto il liquido che ne esce. Per una tale disposizione vedesi facilmente che il peso che agisce sul galleggiante aumenta esattamente del peso dell'acqua scolata, e che il medesimo deve perciò immergersi maggiormente. E poichè per l'equilibrio dei corpi galleggianti, il peso del liquido spostato dev'essere eguale al peso del galleggiante stesso, ne avviene che la quantità di liquido nuovamente spostato sarà perfettamente eguale a quella scolata, e rimarrà così costante l'altezza del liquido nel vaso.

Dobbiamo a Torricelli un teorema che comprende tutte le leggi dello scolo dei liquidi, e che l'esperienza ha generalmente confermato. Il teorema di Torricelli si esprime nel modo seguente: *Le molecole di un liquido sortendo dall'orifizio di un vaso hanno la stessa velocità che avrebbero acquistata cadendo liberamente nel vuoto da un'altezza eguale alla distanza che v'è tra la superficie di livello e il centro dello orifizio*. La velocità v delle molecole cadute liberamente nel

vuoto da un'altezza h è espressa da una formola che si deduce in meccanica dalle formole generali del moto dei corpi pesanti. Questa formola è $v = \sqrt{2gh}$, in cui g , che ci rappresenta l'azione della gravità, è eguale a Parigi, come abbiamo veduto a $9,8088^m$.

$$\text{Perciò } v = 4,429^m \sqrt{h}$$

Tale è secondo il teorema di Torricelli la velocità che debbono avere le molecole liquide nell'istante in cui traversano un orifizio, il cui centro è situato ad una profondità h , espressa in metri, al di sotto del livello.

Per verificare sperimentalmente questo risultato, basta disporre un apparecchio a livello costante, da cui il liquido scoli da un orifizio in sottil parete di una sezione nota s , e il cui centro sia ad una profondità nota h al di sotto del livello; poi osservare la portata ossia il numero dei litri che scolano, in un tempo determinato, per esempio in 8' a 10'. Allora è facile dedurre la portata in un secondo, espressa in metri cubi. Questa portata, o piuttosto questo volume, può essere considerato come un cilindro che abbia per base la sezione dell'orifizio e che sia passato dall'orifizio stesso come un filo dalla filiera. Adunque chiamando d la portata in 1", espressa in metri cubi, v' la lunghezza incognita di questo cilindro, si deve avere

$$s v' = d, \text{ da cui } v' = \frac{d}{s}$$

essendo la sezione s del cilindro espressa in metri quadrati.

È evidente che v' rappresenta la velocità effettiva delle molecole liquide, poichè rappresenta il numero dei metri che queste molecole percorrono in un secondo.

È dunque facile determinare se la velocità effettiva data dalla formola

$$v' = \frac{d}{s}$$

è uguale alla velocità teorica data dalla formola

$$v = 4,429^m \sqrt{h}$$

Molte osservazioni di confronto hanno mostrato che la velocità effettiva dedotta dalla portata non corrispondeva a quella data dal teorema di Torricelli, dedotto da considerazioni di meccanica. In realtà la portata ottenuta colla esperienza è minore della portata data dal calcolo. Questa differenza dipende dal restringimento che subisce la vena liquida all'uscire dall'orifizio. Difatti per avere la velocità del liquido scolato, noi misuriamo la portata ritenendo per sezione della vena quella dell'orifizio, mentre è assai minore. L'esperienza prova che la vena liquida al massimo punto della sua contrazione è ridotta appunto a $\frac{1}{2}$ della sezione dell'orifizio, cioè a dire è diminuita nello stesso rapporto in cui si trova diminuita la portata effettiva da quella calcolata.

Dal teorema di Torricelli traggonsi le seguenti conseguenze, suscettibili di essere verificate dall'esperienza.

1.^o Qualunque sia la densità del liquido che scola, purché abbia una stessa altezza, la velocità sarà eguale in ogni caso e indipendente da questa densità. Facendo uscire del mercurio dell'acqua, dell'alcool, da recipienti in cui il liquido sia tenuto alla stessa altezza, la velocità che anima le molecole che escono sarà in tutti i casi la stessa; non però la pressione, la quale varia sempre colla densità del liquido che scola.

2.^o Le velocità con cui scola un liquido a diverse altezze, stanno fra loro come le radici quadrate di queste altezze o profondità degli orifizj al di sotto della superficie del livello. Le velocità dei gravi sono appunto fra loro come le radici quadrate delle altezze da cui sono cadute. Si può verificare questa legge per mezzo di due vasi che abbiano nel centro del loro fondo lo stesso foro e in ognuno dei quali l'acqua sia mantenuta ad un'altezza costante. Uno di questi vasi sia quattro volte più alto dell'altro. Raccogliendo l'acqua che esce nello stesso tempo da ambedue, si osserva che da quello di cui l'altezza è quadrupla dell'altro esce un volume doppio di liquido; la velocità è quindi doppia, e perciò in ragione della radice quadrata dell'altezza della superficie di livello sul foro. Anche in questo caso però la pressione non dev'essere confusa colla velocità; essa è nel primo caso quadrupla dell'altra.

3.° Se il getto liquido s'innalzerà verticalmente, salirà ad un'altezza presso a poco eguale a quella del livello che ha il liquido nel recipiente da cui esce. Difatti sappiamo che un corpo cadendo acquista tanta velocità da risalire al punto da cui è partito. Questo fatto si può osservare coll'apparecchio destinato a mostrare la legge dello equilibrio dei liquidi nei tubi comunicanti. Lo zampillo di liquido che esce dal tubo più corto, si solleva all'incirca al livello del liquido negli altri tubi. Non giunge completamente allo stesso livello perchè vi sono diverse cause che glielo impediscono: tali sono l'attrito contro le pareti del tubo, la resistenza dell'aria e l'urto delle gocce del liquido che ricadono sul getto. Con questo principio delle acque salienti si dà spiegazione delle sorgenti artesiane. S'immagini un recipiente naturale di acqua nell'interno di una montagna, e si supponga che per una disposizione naturale e in alcuni luoghi molto frequente, questa raccolta scenda entro terra distendendosi orizzontalmente, ritenuta fra strati di materia impermeabile all'acqua. Se allora si farà un foro verticale che giunga fino a questa specie di condotto orizzontale, l'acqua salirà per quel foro artificiale fino all'altezza del recipiente con cui comunica, e perciò spesso volte assai al di sopra della superficie del terreno forato.

Dei tubi addizionali e della loro influenza sullo scolo. Chiamansi tubi addizionali dei tubi di diverse forme, o delle lastre curve forate in diverse guise, che si adattano agli orifizj delle sottili pareti per dar passaggio al liquido che scola. Il più semplice è quello che ha la forma esatta che prende la vena, dall'orifizio fino al punto di sua massima contrazione. Quando la sua superficie interna è ben levigata non esercita alcuna influenza sulla portata. Una lastra curva traversata da un orifizio non dà la stessa portata di una parete piana fornita di un orifizio della stessa grandezza; essa dà una portata maggiore quando la concavità è volta verso l'interno, ed una portata minore quando è volta verso l'esterno. Nei tubi addizionali cilindrici dello stesso diametro che gli orifizj in sottili pareti ai quali sono applicati, si producono dei fenomeni singolari. Talora la vena fluida rimane libera e passa

dal tubo senza toccarlo; talora diviene aderente e lo scolo si fa *a piena gola*. Nel primo caso la presenza del tubo addizionale non ha influenza nè sulla velocità nè sulla portata; esso non può produrre alcun effetto, perchè non ha punti di contatto col liquido. Nel secondo caso l'aderenza che si stabilisce fra la superficie della vena e le pareti del tubo, determina un aumento di velocità e di portata. Se la lunghezza del tubo addizionale non supera quattro volte il suo diametro, la portata è aumentata circa di $\frac{1}{4}$. Un tubo addizionale conico, che vada allargandosi nella direzione dello sgorgo, può dare un aumento di portata anche maggiore. L'aderenza che nasce fra la vena e le pareti dei tubi addizionali dipende dalla pressione del liquido. Se essa è troppo forte non ha luogo alcuna aderenza, e il liquido esce come se il tubo non esistesse. Ogni rigonfiamento, ogni irregolarità in un tubo addizionale conico o cilindrico produce una diminuzione assai considerevole nella portata dei liquidi. I tubi di picciol diametro diminuiscono molto più la portata di quelli di un diametro maggiore.

Scolo nei canali. Nei canali non accade lo stesso che nei tubi: i canali essendo aperti nella loro parete superiore non hanno alcuna influenza sulla portata. Un canale di forma qualunque fornisce nello stesso tempo la stessa quantità di acqua che riceve dal serbatoio all'altra sua estremità, e in conseguenza in una porzione qualunque del canale passa costantemente la stessa quantità d'acqua nello stesso tempo. Ne segue che la velocità del corso aumenta a misura che il canale si restringe, e diminuisce a misura che la sua larghezza aumenta; e poichè la velocità è dovuta alla gravità, essa aumenta coll'inclinazione del canale. Ma in una stessa porzione di canale, la velocità non è eguale per tutte le molecole; quelle situate a contatto delle pareti sono in ritardo a motivo dell'attrito contro di esse, e ritardano quelle che le avvicinano. Il massimo di velocità è alla superficie nel centro della corrente.

Pressioni che i liquidi in movimento esercitano sulle pareti dei tubi. Abbiamo veduto che i liquidi godono della proprietà di trasmettere in tutti i sensi la pressione; ma ciò non ha luogo

se non quando sono in riposo; quando sono in movimento muovonsi come i corpi solidi, e non trasmettono lateralmente la pressione, se non quando incontrano degli ostacoli al loro movimento. Da ciò deducesi:

1.^o Che quando un liquido esce per un tubo con tutta la velocità che deve avere in virtù dell'altezza di livello, non esercita pressione alcuna sulle pareti del tubo. Per convincersene basta fare un piccolo foro in dette pareti, e il liquido non sgorgerà punto per esso. Pure se il foro fosse fatto nella parete inferiore di un tubo orizzontale, un po' di liquido uscirebbe anche di lì in grazia della pressione che esercita la grossezza della colonna liquida.

2.^o Quando un liquido esce per un tubo con velocità minore di quella che dovrebbe avere in virtù dell'altezza di livello, esercita pressione sulle pareti del tubo. Infatti se si pone qualche ostacolo nell'interno del tubo, il liquido zampilla per l'orifizio aperto lateralmente, e con una forza tanto maggiore quanto più è diminuita la velocità.

3.^o Quando un liquido sgorga da un tubo con una velocità maggiore di quella che dovrebbe avere in virtù dell'altezza del livello, esercita una pressione negativa, ossia una vera aspirazione sulle pareti del tubo. Così qualora sia slargato come i tubi addizionali che più aumentano la portata, e si fori in un punto della parete, non solamente non uscirà il liquido per questo foro, ma trarrà seco il liquido che si trovi con esso a contatto sull'esterno del tubo.

Reazione prodotta in un vaso per lo scolo del liquido che contiene. Quando un liquido è in riposo in un recipiente, le pressioni sulle pareti opposte essendo eguali e contrarie si distruggono interamente, e non possono imprimere alcun movimento al vaso; ma se forasi la parete in un punto qualunque il liquido sgorgerà perpendicolarmente alla parete, ed il vaso sarà spinto in senso contrario dalla pressione sulla parete opposta all'orifizio, che non è più equilibrata dalla porzione della parete soppressa. Ciò infatti è facile a verificarsi sospendendo ad un filo *AB* un piccolo pallone *M* pieno di acqua e guarnito di una tubulatura *m* (*Tav. IV, Fig. 113*). Nell'istante che si permette al liquido di uscire, il vaso si

muove in senso contrario dell'efflusso, ed il filo *AB* s'allontana dal filo a piombo *AC* di una quantità tanto più grande, quanto più grandi sono il diametro dell'orifizio e la sua distanza dal livello interno del liquido. Lo stesso effetto può rendersi evidente trasformando il movimento di traslazione in un movimento rotatorio. Ciò si eseguisce per mezzo di una spirale fatta con un tubo di vetro, mobile intorno ad un asse, la quale termina in alto con un recipiente ed in basso con un sottile orifizio. Appena empita di acqua, comincia questo liquido a uscire, e la spirale si mette a rotare in direzione contraria a quella in cui esce il liquido.

Unità di misura nella distribuzione delle acque. Termineremo questi brevi cenni sui principj della Idrodinamica indicando qual'è l'unità di misura per le acque correnti. Essa è chiamata *Pollice d'acqua* o *Pollice de' Fontanieri*, e corrisponde alla quantità d'acqua che sgorga in un minuto da un orifizio circolare di un pollice di diametro fatto in una parete verticale e con un carico di acqua di sette linee dal centro dell'orifizio. Il volume d'acqua che scorre in tali condizioni è di 672 pollici cubi per minuto, lo che corrisponde a 19,2 metri cubi in 24 ore. Un mezzo pollice di acqua è la quantità di essa che sgorga da un orifizio di mezzo pollice di diametro colla stessa pressione; onde risulta che in volume o in peso il mezzo pollice è veramente un quarto di pollice, poichè sotto la medesima pressione un orifizio di un diametro metà di un altro dà una portata la quale è la quarta parte di quella che sgorgherebbe da questo.

Proprietà dello stato gassoso dei corpi.

Nei gas o corpi aeriformi, si è detto che la forza repulsiva del calorico vince la forza di attrazione delle loro molecole: perciò le molecole di questi corpi si respingono incessantemente, ed essi sono caratterizzati non solo dalla grande mobilità di cui sono dotati, ma ben anco dalla forza di espansione con cui tendono sempre ad estendersi e ad aumentare di volume.

I corpi aeriformi sono molti, e differiscono fra loro per delle proprietà, lo studio delle quali spetta alla chimica. Il

fisico esamina soltanto quelle proprietà che sono ad essi tutti comuni.

Peso e densità dei gas. I gas, come tutti i corpi, soffrono l'azione della gravità, e quindi sono pesanti. Ciò non apparisce immediatamente ai nostri sensi, ed ha bisogno di dimostrazione sperimentale. Si ottiene in generale il peso dei gas pesando un dato volume di gas in un recipiente, poi determinando il peso del recipiente vuoto. Il vuoto si fa per mezzo di una macchina che descriveremo fra breve, e che è conosciuta in fisica col nome di macchina pneumatica. Il recipiente che serve a queste esperienze è un pallone di cristallo munito di una ghiera metallica col robinetto. Con questo stesso metodo si può verificare il peso dell'aria atmosferica. Difatti quando si pesa un pallone pieno d'aria il peso che ottiensi è uguale a quello del pallone vuoto, più quello dell'aria interna, meno quello di un egual volume di aria spostata, e quindi è eguale al peso del solo pallone. Quando si pesa dopo aver fatto il vuoto nel suo interno, il peso che ottiensi è eguale al peso del pallone vuoto, diminuito del peso di un egual volume di aria spostata. È per questa ragione che tal diminuzione ci dà la misura esatta del peso del volume d'aria contenuto nel pallone.

Sembra ad un tratto che il peso dell'aria possa verificarsi anche per mezzo di una vescica guarnita di robinetto, pesandola successivamente vuota e piena di aria; ma è facile, con un po' di riflessione accorgersi che il peso non cangerebbe nelle due circostanze. Infatti quando la vescica è piena, il suo peso è eguale a quello dell'invoglio, qual sarebbe nel vuoto, più il peso dell'aria contenuta nella vescica, meno il peso del volume d'aria spostato; e quando essa è più o meno sgonfia, la diminuzione dell'aria interna essendo eguale alla diminuzione dell'aria spostata, e l'aria interna avendo la stessa densità della esterna, ne risulta necessariamente che il suo peso nell'aria è sempre lo stesso, qualunque sia la quantità d'aria che contiene.

Per determinare la densità dei gas si è convenuto di riferirla a quella dell'aria atmosferica presa sotto una data pressione e alla temperatura del ghiaccio che si fonde. Que-

ste due condizioni sono necessarie perchè vedremo che al variare di esse variano le densità dei gas. Sembra dopo ciò che per determinare la densità di un gas, bisogna conoscere i pesi d'uno stesso volume di aria e di gas, presi ambedue alla temperatura di 0 e sotto la pressione atmosferica normale; ma noi vedremo in seguito che i gas variano tutti egualmente di volume per gli stessi cambiamenti di temperatura e di pressione; perciò la densità di un gas è eguale al rapporto dei pesi di uno stesso volume di gas e d'aria alla stessa temperatura e alla stessa pressione. Il peso di un litro di aria alla temperatura di 0° e sotto la pressione di un'atmosfera è eguale a grammi 1,299. D'altronde si sa che un litro d'acqua ha il peso di grammi 1000; perciò l'aria alla temperatura di zero è 770 volte più leggiera dell'acqua al suo massimo di densità, cioè a 4°. Dato questo peso di un litro d'aria è chiaro che può aversi il peso di un litro di ogni altro gas, moltiplicando il detto numero per la densità del gas. Difatti chiamando D questa densità, ed x il peso cercato, poichè a volumi eguali le densità sono proporzionali ai pesi, potremo stabilire questa proporzione

$$1 : D = 1,299 : x$$

$$\text{da cui, } x = 1,299 \times D$$

Perciò per un gas, di cui la densità sia eguale a 0,0688, essendo 1 quella dell'aria, il peso di un litro sarà grammi 0,089. Questo gas è l'idrogeno.

Il metodo pratico per la determinazione della densità dei gas è semplicissimo. Consiste nel pesare un pallone di otto a dieci litri, vuoto e successivamente pieno di aria e dei differenti gas. Il pallone dev'essere fornito di un robinetto perfettamente lavorato affinchè conservi il vuoto. È indispensabile operare sopra un volume un po'considerevole a motivo della leggerezza dei gas. Se la capacità del pallone fosse di soli due o tre litri, gli errori avrebbero troppa influenza sui risultati. Siccome non è possibile di spingere il vuoto al di là del millimetro, è utile di fare nuovamente il vuoto dopo l'introduzione del gas dissecato. I gas debbono essere disseccati prima d'introdurli nel pallone. La figura 114 Tav. IV indica la disposizione dell'apparecchio. M è il pallone vuoto, B è la

campana che riceve il gas, la quale è piena di mercurio e riposa sopra un bagno dello stesso liquido. *CD* è il tubo contenente la materia disseccante, la quale consiste in cloruro di calcio fuso; il gas vi passa attraverso per introdursi nella campana. Aprendo i robinetti *R* ed *R'*, da questa passa nel pallone. Si fa penetrare nella campana nuova quantità di gas, finchè il livello del liquido resti lo stesso, tanto nel suo interno che all'esterno, e ciò perchè la pressione cui è sottoposto il gas sia eguale a quella dell'atmosfera.

Sia *p* il peso del pallone vuoto, *P* il peso del pallone pieno di aria; *P—p* sarà il peso dell'aria contenuta. La stessa esperienza fatta sopra un altro gas, ci darà *P'—p* per il peso del medesimo; e poichè le densità sono proporzionali ai pesi sotto gli stessi volumi, prendendo per unità la densità dell'aria avremo

$$1 : d = P - p : P' - p,$$

$$\text{da cui } d = \frac{P' - p}{P - p}$$

Per ciò che abbiamo detto è evidente che se la determinazione del peso de' volumi eguali dell'aria e dell'altro gas si fa sotto la stessa temperatura e pressione, il risultato dell'esperienza non avrà d'uopo di correzione. Ma se il peso dell'aria contenuta nel pallone, lo ricaviamo da quello del suo litro alla temperatura di 0° ed alla pressione di 0,^m 76, è chiaro che dovremo ridurre anche il peso del gas trovato coll'esperienza a quello che sarebbe in quelle stesse circostanze. Vedremo fra breve come si operi questa riduzione. Ecco intanto la densità trovata di differenti gas.

Nomi dei Gas.	Densità
Aria	1, 00000
Ossigeno	1, 10563
Idrogeno	0, 06886
Azoto	0, 97137
Cloro	2, 45000

Forza espansiva dei gas. Poichè le molecole di un gas si respingono di continuo, è necessario che premano contro le pareti del recipiente in cui sono contenute; perciò quando si faccia un foro in detto recipiente tutto il gas dovrebbe uscì-

re. Ne resulterebbe che tutti i vasi sarebbero vuoti quando avessero un'apertura qualunque. Ciò in realtà non accade, poichè sappiamo che un vaso aperto si conserva pieno di aria, a meno che per discacciarla non vi si versi dell'acqua o un altro liquido. Vediamo adunque come ciò avvenga. Immaginiamo per es. un vaso di un litro di capacità e chiuso da tutte le parti: se fosse vuoto e che vi si facesse un'apertura, l'aria esterna vi si precipiterebbe all'istante per riempirlo; ma quando v'ha dell'aria al di fuori come al di dentro, l'aria esterna per entrare nel vaso fa uno sforzo grande quanto quello che fa l'aria interna per uscirne; e fra queste due pressioni eguali e contrarie l'equilibrio sussiste, tanto nei punti in cui il vaso è aperto, come in quelli in cui è chiuso dalle pareti. È dunque l'aria esterna che arresta la forza repulsiva dell'aria interna.

L'equilibrio di queste pressioni è sì rimarchevole che merita di essere dimostrato con esperienze dirette. Sotto il recipiente della macchina pneumatica si pone una vescica che contenga un poco d'aria; si comincia a fare il vuoto e si vede la vescica che si gonfia sempre più, fino ad acquistare tutto il volume di cui è suscettibile. Se si lascia di nuovo entrar l'aria, la vescica riprende all'istante il suo primo volume. Nel primo caso tolta la pressione esterna che bilanciava quella dell'aria dell'interno della vescica, quest'aria si dilata incessantemente; ristabilita la solita pressione esterna l'aria dell'interno della vescica riprende il suo primitivo volume.

Se si prende un vaso di vetro il cui fondo superiore consista in una membrana legata intorno ad esso, e si faccia il vuoto nel suo interno, si vedrà ai primi colpi di stantuffo la membrana incurvarsi verso l'interno del cilindro, come se una forza esterna la premesse in quel senso, e seguitando ad estrarre l'aria la membrana finirà per rompersi. Questa forza che rompe la membrana e che gonfia la vescica sotto la campana della macchina pneumatica è una forza considerevole. Ci possiamo fare un'idea del valore di questa forza per mezzo dei così detti *Emisferi di Magdebourg*, i quali consistono in due emisferi di ottone che s'innestano esattamente l'uno sull'altro, e dai quali si può estrarre l'aria che rimane rac-

chiusa fra loro. Appena è fatto il vuoto nell'interno dei due emisferi una forza enorme occorre per separarli, e può facilmente provarsi che questa forza è dovuta alla pressione dell'aria esterna, sospendendo i due emisferi nell'interno di una campana da cui possa estrarsi l'aria. Appena il vuoto è fatto, essi separansi, e l'inferiore cade pel proprio peso. Lo stesso accadrà girando il robinetto di cui sono forniti, e introducendo dell'aria nel loro interno. Questa pressione dell'atmosfera sulla superficie esterna dei due emisferi nel cui interno si è fatto il vuoto, agisce non solo dall'alto al basso e dal basso all'alto, ma in ogni altra direzione ancora. Infatti basta svitarli dalla macchina pneumatica dopo aver chiuso il robinetto destinato a conservare in essi il vuoto, e provare a distaccarli, ponendoli orizzontalmente, o in qualunque altra posizione; in ogni caso si risentirà sempre la stessa resistenza.

Ciò che si è detto dell'aria deve riferirsi a qualunque altro gas. Un gas qualunque contenuto in un recipiente aperto non ne esce fintantochè l'atmosfera in cui è racchiuso è formata da un gas della stessa densità, perchè le pressioni del gas interno e dell'esterno saranno eguali e si bilanceranno. Se il gas interno sarà meno denso dell'esterno, quest'ultimo, in virtù della sua maggiore pressione, prenderà il posto del primo nel modo stesso che se fosse un liquido. Per questa ragione si potrà empire di gas acido carbonico un recipiente qualunque pieno di aria, facendo sgorgare quel gas sul fondo di esso.

La forza espansiva dei gas è anche distinta coi nomi di *forza elastica*, *elasticità* e *tensione*.

Compressibilità dei gas. Poichè l'aria ed i gas sono elastici e tendono ad espandersi incessantemente a mano a mano che si diminuisce la pressione che agisce su di essi, deve necessariamente accadere che aumentando questa pressione il loro volume diminuisca e la loro densità aumenti; in una parola essi debbono comprimersi. È questo un fatto che è pure assai facile dimostrare coll'esperienza. Basta servirsi di un tubo di vetro o di metallo chiuso ad una estremità, entro cui si muova esattamente uno stantuffo. Abbassando lo stantuffo, l'aria si comprime nel tubo, e lo stesso accadrebbe a qualunque altro

gas che si sottoponesse all'esperienza. Questo esperimento prova inoltre un altro fatto importante su cui torneremo più a lungo, ed è che a misura che l'aria ed i gas si comprimono, la loro forza elastica, o pressione contro le pareti del tubo, va sempre crescendo. Difatti nell'abbassare lo stantuffo si proverà uno sforzo tanto maggiore, quanto più lo stantuffo sarà in basso, e quindi quanto maggiore sarà la compressione. È alla compressibilità ed alla elasticità dell'aria che i palloni di pelle ripieni di questo fluido rimbalzano sul terreno quando vi cadono da una certa altezza.

I gas comunicano le pressioni egualmente in tutti i sensi. Questa proprietà dei gas può esser messa in evidenza per mezzo dell'apparecchio rappresentato dalla figura 115 della Tav. IV. *AB* è un cilindro nel quale si muove uno stantuffo; *M* è un serbatoio pieno di aria che comunica col corpo di pompa, e la parete del quale è traforata da un gran numero di aperture che ricevono dei tubi ricurvi contenenti lo stesso liquido; quando si discende lo stantuffo l'aria compressa stabilisce in tutti i tubi la stessa differenza di livello. Perciò quando dell'aria è contenuta in un vaso, e che si esercita su di essa una pressione qualunque, essa trasmettcsi egualmente su tutti i punti delle pareti del vaso.

Condizioni d'equilibrio dei gas. Pei gas la sola condizione d'equilibrio, si è che la loro forza elastica sia distrutta dalla resistenza delle pareti, e sia eguale in tutta l'estensione di un medesimo strato orizzontale. Difatti in un vaso qualunque *ABCD* (Tav. IV, Fig. 116) tutti i punti dello strato orizzontale *cd* devono avere la stessa elasticità, giacchè bisogna che la forza repulsiva delle molecole che sono in *b* possa bilanciare la forza repulsiva delle molecole che sono in *b'*; e queste forze non possono farsi equilibrio a meno che non sieno eguali in tutti i punti dello strato *cd*. Lo stesso accadrà in tutti gli altri strati orizzontali che si potranno concepire, sia al disopra sia al di sotto di *cd*; ma è però evidente che lo strato *mp*, per esempio, è maggiormente premuto di *cd* perchè sopporta prima tutta la pressione che si esercita su *cd* e che gli è trasmessa pel principio d'eguaglianza di pressione, e inoltre sopporta ancora tutto il peso dell'aria che è compresa

nella colonna *cdmp*, e che pesa liberamente su di esso come una colonna liquida pesa sul fondo di un vaso. La condizione della stabilità dell'equilibrio è pure la stessa che nei liquidi, e per le stesse ragioni: l'equilibrio è stabile quando la densità degli strati inferiori è più grande di quella dei superiori.

Questa legge dell'equilibrio dei gas è una legge universale per tutte le masse gassose, comunque piccole o grandi possano essere; essa applicasi all'aria contenuta in un grande edificio, come a quella contenuta in un piccolo vaso; si applica a tutta la colonna d'aria atmosferica che riposa sopra una vasta pianura, come a quella immensa massa di aria che circonda la terra da tutte le parti, che ruota insieme con essa, e in cui sono immersi tutti i corpi esistenti alla superficie terrestre, in una parola all'atmosfera.

Si concepisca ad un'altezza qualunque, per esempio all'altezza del Monte Bianco, uno strato atmosferico che circondi la terra e che sia parallelo alla superficie delle acque; converrà per l'equilibrio che tutti i punti di questo strato sopportino da per tutto la stessa pressione, a Firenze come agli antipodi, sul continente come sul mare, e nelle regioni dei poli come in quelle dell'equatore. Un secondo strato parallelo a quello, ma cento metri più basso, dovrà per la stessa ragione avere tutti i suoi punti egualmente premuti, e tutti si troveranno premuti maggiormente di quelli del primo strato, dell'intero peso della colonna d'aria alta cento metri che sopportano di più. Così ad altezze eguali la pressione è la stessa, ma diminuisce a misura che ci solleviamo.

Poichè l'aria oppone alla pressione cui è sottoposta la sua forza elastica, convien concludere che negli strati inferiori dell'atmosfera, crescendo le pressioni, crescano pure le forze elastiche con cui l'aria resiste. Da ciò si concepisce facilmente come una piccola massa di aria, qual sarebbe quella contenuta in un vaso di piccole dimensioni, possa premere con la stessa forza di tutta la colonna dell'atmosfera. Ciò avviene perchè la forza elastica dell'aria contenuta nel piccolo vaso è aumentata nello stesso rapporto della pressione che sopporta.

I gas non possono avere come i liquidi una superficie libera sulla quale alcuna pressione non si eserciti, giacchè

abbiamo detto che è necessario un ostacolo per arrestare la loro forza espansiva che è indefinita. Dopo ciò si potrebbe concludere che l'atmosfera non abbia un limite, poichè le sue molecole non trovando ostacoli che le trattengano, ed essendo sempre spinte dalla loro forza elastica, dovrebbero precipitarsi nel vuoto e andare sempre più dissipandosi fino a riempire l'immenso spazio del cielo. Perciò l'aria sarebbe da per tutto; essa circonderebbe la terra e la luna, il sole e i pianeti, e formerebbe attorno di essi delle atmosfere analoghe a quella che circonda la terra. Si dimostra nell'ottica che i fenomeni osservati non giustificano queste conclusioni. Perciò si è ammesso che l'atmosfera abbia un limite, e si calcola che sia all'altezza di circa 50,000 metri. La causa di questo limite sembra consistere nell'attrazione terrestre, la quale alla considerevole distanza cui sono portate le molecole aeree a quella grande altezza, bilancerebbe la loro forza repulsiva.

Misura della pressione atmosferica. Poichè l'atmosfera circonda la terra, essa ne preme egualmente tutti i punti, sia sulla superficie delle acque come sui continenti. Vediamo qual'è la pressione della colonna d'aria che gravita su di ogni punto della terra.

Supponiamo che un tubo sia immerso con una delle sue estremità in un vaso pieno di acqua (*Tav. IV, Fig. 117*): il liquido si pone allo stesso livello nel tubo e nel vaso, perchè la pressione atmosferica è la stessa nell'interno del tubo in *cd*, ed all'esterno sulla superficie *ab*. Ma se si aspira una porzione dell'aria contenuta nel tubo, il liquido sale come se fosse esso pure aspirato; sale sempre più, a misura che l'aspirazione continua; s'arresta al suo cessare, e la colonna sollevata resta sospesa nell'interno del tubo. Questa esperienza, la quale non è che un ginoco da fanciulli, ci darà il mezzo di misurare la pressione atmosferica e di trovare il peso totale dell'aria, come se noi potessimo porre tutta l'atmosfera in una bilancia. Aspirando l'aria si diminuisce la pressione che si esercita nell'interno del tubo, senza cambiare minimamente la pressione esterna; questa, essendo allora più forte, obbliga il liquido a salire fino a che la condizione di equilibrio sia stabilita, cioè a dire finchè la pressione sia la stessa su tutti i punti del me-

desimo strato, tanto nell'interno in *cd*, che all'esterno in *ab*. Nel momento che queste pressioni sono eguali il liquido cessa di salire; ma la pressione interna che si esercita su *cd* si compone di due parti: della pressione dovuta al peso della colonna liquida sollevata e della pressione dovuta alla elasticità dell'aria che rimane al di sopra della sommità di questa colonna. Così diminuendo sempre più l'elasticità dell'aria, la colonna di acqua s'innalzerà sempre più, ed infine se si toglie completamente l'aria, bisognerà che s'innalzi a tal punto che essa sola prema *cd* colla stessa forza colla quale l'atmosfera preme sopra *ab*. Converrà dunque che il peso di questa colonna d'acqua sia eguale al peso d'una colonna d'aria della stessa base avente per altezza tutta l'altezza dell'atmosfera, giacchè su di ogni centimetro quadrato l'aria e l'acqua non premono che pel loro peso. Ecco adunque il mezzo di pesare una colonna atmosferica, qualunque sia la sua altezza. Tutto si riduce a trovare un tubo sufficientemente lungo e a togliervi completamente l'aria.

La determinazione del peso dell'atmosfera devesi al celebre Torricelli discepolo del Galileo. Ecco come ebbe origine questa importante scoperta. Alcuni fontanieri di Firenze, avendo fabbricato delle trombe per inalzare l'acqua ad altezze assai considerevoli, osservarono con sorpresa che questo liquido non saliva più in alto di dieci metri. Ricorsi al Galileo per avere la spiegazione di siffatto fenomeno, ne ebbero in risposta, che la natura aveva orrore al vuoto fino ad un certo punto; ma egli è provato che il grande filosofo non era convinto di quanto avea risposto, e che meditando su quel fenomeno dubitò che la pressione dell'atmosfera ne fosse la causa. Il Torricelli di ciò convinto, giunse a dimostrarlo nel modo il più evidente, mediante un'argomentazione altrettanto semplice quanto ingegnosa. Egli riflettò che se realmente la pressione atmosferica sollevava l'acqua nei tubi delle trombe fino all'altezza di 10 metri, doveva sollevare ad altezze minori dei liquidi di maggior densità. giacchè onde due colonne di liquido diverso esercitino la stessa pressione sopra una medesima base, è necessario che le loro altezze sieno in ragione inversa della loro densità; talchè se l'acqua s'innalzava di 10 metri, il mercurio, quasi 14 volte più denso, doveva innalzarsi ad un'altezza

14 volte minore, cioè a dire di circa 28 pollici. L'esperienza verificò infatti il suo ragionamento. Egli prese un tubo di vetro di un metro di lunghezza, chiuso ad un estremo, lo riempì di mercurio, e dopo averlo chiuso con un dito lo capovolse verticalmente per immergerne l'estremità in un bacino pieno dello stesso liquido. Tosto che tolse il dito, il mercurio interno discese di varj centimetri, quindi arrestossi per l'equilibrio stabilito, e la colonna liquida che rimase sospesa nel tubo era realmente alta circa 28 pollici, ossia 76 centimetri. Questa celebre esperienza fu fatta nell'anno 1643.

L'apparecchio così costruito è il noto strumento, distinto col nome di *Barometro*. Il vuoto che resta al di sopra della colonna barometrica chiamasi *vuoto barometrico* o *vuoto torricelliano*. L'*altezza barometrica* è l'altezza verticale della sommità *s* della colonna al di sopra del livello *ab* (*Tav. IV, Fig. 118*). Essa non è la stessa in tutti i luoghi, ma sulle rive del mare è ordinariamente di 76 centimetri. Questa è l'altezza normale alla quale si riferiscono tutte le altre.

Pascal ebbe poco dopo l'idea di costruire un barometro ad acqua, e ne fece l'esperienza a Rouen nel 1646; il suo tubo aveva 46 piedi di lunghezza; e poichè allora non si conosceva il modo di toglierne l'aria, lo fece turare da un lato, lo riempì di vino e chiuse l'altro estremo con un tappo. Allora per mezzo di corde e di pulegge, il tubo fu raddrizzato verticalmente, e l'estremità inferiore fu immersa in un vaso pieno di acqua. Nel momento che si tolse il tappo che lo teneva chiuso, la colonna liquida si abbassò nel tubo fino a che la sua cima non fu circa dieci metri al di sopra del livello dell'acqua del vaso. Nei quattordici piedi che rimanevano al di sopra non vi era aria, ma vuoto. Perciò la colonna liquida faceva essa sola equilibrio alla pressione atmosferica; d'onde segue che una colonna d'acqua o di vino di 10 metri di altezza pesa quanto una colonna d'aria della stessa base. Perciò ogni punto della superficie della terra è premuto come se fosse ricoperto da uno strato di acqua di 10 metri di altezza; e noi che viviamo nel fondo di quest'oceano di aria, siamo premuti da tutte le parti come se fossimo nel fondo di un lago con 10 metri di acqua al di sopra del livello delle nostre teste.

Se adunque l'altezza della colonna barometrica misura realmente la pressione atmosferica, là dove questa pressione è minore detta colonna dovrà abbassarsi. Pascal fu il primo che trasse questa deduzione, e che la verificò coll'esperienza, salendo sull'alto del Puy-du-Dome con un barometro di Torricelli. Egli osservò che la colonna barometrica si abbassava a mano a mano che saliva in alto. Molte altre esperienze confermarono in seguito questo risultato. Saussure trovò sulla cima del gran monte San Bernardo che la colonna del barometro non era più alta di 57 centimetri, e Gay-Lussac, nella sua celebre ascensione areostatica, s'innalzò fino ad osservare la colonna del barometro alta 32 centimetri.

Dopo quanto si è detto sarà facile intendere come possa valutarsi in chilogrammi la pressione atmosferica. Difatti sopra un centimetro quadrato di base la colonna di mercurio, che fa equilibrio al peso dell'atmosfera, ha un volume di 76 centimetri cubici. Moltiplicando questo volume per la densità del mercurio si avrà il peso della colonna di aria che gravita sopra un centimetro quadrato. La densità del mercurio, presa quella dell'acqua eguale ad 1, è di 13,59; perciò si ottiene un chilogrammo e trentatre milligrammi. Questo peso ci esprime adunque la pressione atmosferica sopra un centimetro quadrato, da cui si potrà dedurre l'intero peso di tutta l'atmosfera, moltiplicandolo pel numero dei centimetri quadrati che formano la superficie della terra. Si ha in tal guisa che il peso dell'atmosfera è di circa 100,000,000,000,000,000 di chilogrammi.

Potremo con egual facilità valutare l'effetto della pressione atmosferica sulla superficie del corpo umano. Si calcola la superficie media del corpo umano di circa 12,000 centimetri quadrati; ond'è che la pressione totale dell'atmosfera che gravita sopra di noi è in termine medio di 12,000 chilogrammi. Il nessun effetto di questa grande pressione sul nostro corpo, e specialmente sui nostri movimenti, dipende dall'eguaglianza di questa pressione in tutti i sensi, per cui i suoi effetti si contrabbilanciano mutuamente, e dalla reazione eguale e contraria dei fluidi stessi contenuti nel nostro corpo. Ed infatti si rende sensibile l'effetto della pressione atmosferica chiudendo con una mano il foro del tubo di una macchina pneumatica

mentre se ne estrae l'aria: tosto si prova una resistenza considerevole a ritirare la mano. Che poi i fluidi elastici del nostro corpo si oppongano alla pressione atmosferica, è facile persuadersene osservando semplicemente ciò che accade nell'applicazione di una ventosa: la carne è spinta nello spazio della ventosa in cui l'aria è rarefatta. Tale è pure la causa delle emorragie che avvengono ascendendo rapidamente una montagna molto elevata, o sollevandosi in un pallone nelle alte regioni dell'atmosfera.

Costruzione del Barometro. Si danno al barometro delle forme diverse secondo l'uso al quale si destina, ma vi sono delle condizioni generali di esattezza che bisogna sempre adempire, qualunque sia la forma che si adotta. Esse riduconsi alle seguenti:

1.° Convieni che il mercurio sia perfettamente puro, onde abbia la sua esatta densità.

2.° Bisogna che il vuoto sia perfetto al di sopra della sommità della colonna barometrica, giacchè se restasse un poca d'aria in questo spazio, o se vi fosse qualche vapore, si avrebbe in essi una forza elastica che agirebbe continuamente per abbassare il mercurio, e gl'impedirebbe di salire al suo vero livello.

3.° Quando la colonna sale o discende nell'interno del tubo, la superficie esterna s'abbassa o s'inalza, e fa d'uopo disporre l'apparecchio in guisa che ad ogni istante si possa misurare la vera altezza del barometro; cioè a dire l'altezza verticale del livello interno al di sopra dell'esterno.

Per avere del mercurio purissimo bisogna estrarlo dal suo solfuro o cinabro. Può anche ottenersi distillando il mercurio in storte di ferro, o purificandolo per mezzo dell'acido solforico o dell'acido nitrico, che sciolgono a preferenza gli altri metalli con cui suol essere mescolato.

Per ottenere il vuoto barometrico nel modo il più esatto possibile, conviene spogliare il mercurio dell'acqua e dell'aria che vi aderiscono con tenacità, e ciò deve ripetersi anche per le interne pareti del tubo. A quest'oggetto s'introduce il mercurio nel tubo per un terzo della sua lunghezza, e poi disteso il tubo con una certa inclinazione sopra una graticola di fer-

ro, si circonda di carboni accesi e si fa bollire per qualche tempo. S'introduce allora una nuova porzione di mercurio, avendo cura di riscaldarlo prima d'introdurlo, onde non fare scoppiare il tubo, e si ricomincia l'ebullizione su tutta la lunghezza di questa nuova colonna; si aggiungono così delle nuove quantità di mercurio che si fanno successivamente bollire fino a che l'ebullizione abbia percorso tutta la lunghezza del tubo, o presso che tutta. Allora si termina di riempirlo con del mercurio bollito, poi dopo il raffreddamento si rovescia in un pozzetto pieno di mercurio. Per verificare se nel rovesciamento si sia lasciata entrare qualche bolla d'aria, bisogna inclinare il tubo un poco vivamente onde il mercurio venga a urtarne la sommità; se produce un colpo secco si può ritenere che il vuoto sia sufficientemente ben fatto; altrimenti l'operazione è andata a vuoto. Importa di non far bollire troppo lungamente il mercurio nel tubo; perchè in quel caso si forma una certa quantità di ossido, il quale rende un po'viscoso il mercurio e più facile a aderire alle pareti del tubo. Allora la colonna del mercurio non è più terminata da una superficie convessa, ma da una superficie piana o concava, che produce un maggiore innalzamento della colonna.

Allorchè l'apparecchio è a questo punto costruito non rimane più che fissare presso il tubo una scala esattamente divisa in centimetri e millimetri, e di cui lo zero corrisponda al livello del mercurio nel pozzetto. Bisogna però osservare che essendo questa scala fissa, allorquando per una causa qualunque la colonna del barometro sale o si abbassa, il mercurio si abbassa o sale corrispondentemente nel pozzetto; e lo zero della scala si trova ora sopra ed ora sotto al livello reale del mercurio nel pozzetto. È perciò necessario di ricondurre costantemente allo zero della scala questo livello. Si può giungere in diversi modi a questo risultato.

Vi si può giungere adoprando pozzetti il cui diametro sia molto più grande di quello del tubo. Difatti supponiamo un pozzetto il cui diametro sia 100 volte quello del tubo; la superficie di una sezione orizzontale del pozzetto sarà 10,000 volte quella del tubo. In questo caso supponiamo che il mercurio discenda nel tubo di 5 centimetri; il mercurio uscito

dal tubo entrerà nel pozzetto, e farà salire il livello di $\frac{1}{10000}$ di centimetro, cioè a dire di $\frac{1}{1000}$ di centimetro o $\frac{1}{100}$ di millimetro, la qual variazione può considerarsi insensibile. Ora non accade mai che in uno stesso luogo la colonna barometrica s'innalzi o si abbassi più di 5 centimetri; anzi le sue variazioni non raggiungono mai questo limite.

Si può anche ottenere lo stesso risultato, facendo mobile il fondo del pozzetto, come ha immaginato Fortin. Il fondo del pozzetto è di pelle, e contro di esso preme una vite; un galleggiante indica se il livello del mercurio ha cambiato, e si riconduce alla sua primitiva posizione alzando o abbassando il fondo colla vite.

In un barometro costruito con le precauzioni indicate rimangono ancora delle cause di errore che importa di ben conoscere ed imparare a togliere. Consistono nella capillarità e nelle variazioni del peso della colonna di mercurio, prodotte dai cambiamenti di temperatura.

Noi conosciamo come la capillarità può alterare l'altezza della colonna barometrica: la superficie convessa di questa colonna produce una forza di depressione che si aggiunge al peso della colonna per bilanciare parte del peso della colonna atmosferica. Può diminuirsi l'effetto della capillarità adoperando dei tubi di grosso calibro. Nel caso poi di un tubo ristretto basterà di conoscere il suo diametro interno per sapere qual depressione è prodotta dalla capillarità, e qual colonna va aggiunta per avere l'altezza totale dovuta alla pressione atmosferica. In un tubo di cui il diametro interno è di 20 millimetri, la depressione prodotta dalla capillarità non è che di $\frac{33}{100}$ di millimetro. Nei grandi trattati di fisica trovansi le tavole necessarie per fare le correzioni che dipendono dalla capillarità dei tubi. L'influenza delle variazioni di temperatura sulla colonna barometrica è evidente: il calore dilatando il mercurio deve diminuirne la densità, per cui la colonna aumenterà di lunghezza al crescere della temperatura, e diminuirà nel caso contrario, supposta la pressione atmosferica costante. Perciò le altezze barometriche non possono essere paragonabili fra loro, se non quando sono prese alla stessa temperatura. Vedremo nel trattato del calore, come i risultati ottenuti a diverse tempera-

ture possano essere ridotti alla temperatura di 0° , che è quella comunemente adottata per rendere i risultati dell'esperienza paragonabili fra loro.

Oltre i barometri a pozzetto, che abbiamo descritti fin qui, vi sono i così detti *Barometri a sifone*, i quali sono specialmente adoprati nei viaggi. Questi barometri consistono in tubi, la cui parte inferiore è ricurva ad *U*, come si osserva nella figura 119. Il braccio aperto di questi tubi fa da pozzetto. In questi barometri tanto il tubo che il pozzetto sono provvisti di scale i cui zero sono situati sulla stessa linea orizzontale, e per mezzo di esse si può determinare la differenza di livello del mercurio nei due tubi. Si può anche fare una sola scala mobile per far sempre coincidere il suo zero col livello del mercurio nel braccio più corto.

I *Barometri a quadrante* sono modificazioni dei barometri a sifone. Sul mercurio del braccio aperto del tubo v'ha un galleggiante di ferro *a* fissato ad un filo di seta (*Tav. IV, Fig. 120*), che si avvolge intorno ad una piccola puleggia mobilissima *b*, ed è teso da un contrappeso *c*. La puleggia è fissa nel centro di un quadrante *MN* situato anteriormente al barometro, e sul suo asse è fissato un ago che si muove sulla faccia anteriore del quadrante. Quando il mercurio sale o discende nel tubo *AB*, discende o sale nel pozzetto, e siccome trascina seco il galleggiante, la puleggia gira e fa muovere l'ago con essa. È facilissimo di graduare questo strumento, in modo che la vera altezza barometrica in un dato istante sia indicata dall'estremità dell'ago.

Barometro di Gay-Lussac. Dobbiamo a Gay-Lussac una modificazione importante che rende portabile e comodissimo il barometro a sifone. Nel barometro di Gay-Lussac il braccio corto e la parte superiore del braccio lungo sono dello stesso calibro, e riunite fra loro per mezzo di un sottilissimo tubo (*Fig. 121*), nel quale il mercurio resta sospeso quando l'istrumento è rovesciato per essere trasportato nei viaggi. Il braccio corto non è aperto che per mezzo di un foro capillare *a*, capace di fare entrare liberamente l'aria, ma atto ad impedire l'uscita del mercurio, per cui può rovesciarsi senza timore che il mercurio ne esca.

Onde impedire che, dopo aver tenuto l'istrumento rovesciato nel riaddrizzarlo per fare una osservazione, l'aria penetri nel braccio chiuso e giunga alla sommità della colonna di mercurio per deprimerla, Buntzen ha immaginato una disposizione ingegnosa rappresentata dalla fig. 122, ove si vede sopra una scala più grande il braccio aperto e solamente la parte inferiore del braccio chiuso. Si vede nel fondo di questa un rigonfiamento ba , nel quale penetra un tubo conico molto sottile c , che è la prolungazione del tubo capillare mn . Per siffatta disposizione se dell'aria si presenta per salire nel vuoto, non può penetrare dalla punta c , ma va a fermarsi nei gomiti b ed e del rigonfiamento. Quando si osserva che vi se ne è raccolta una certa quantità, si fa uscire capovolgendo il tubo. In questo barometro non v'è correzioni da fare per la capillarità perchè i due bracci sono eguali.

Le variazioni nell'altezza barometrica si misurano in questo istrumento per mezzo di due scale aventi lo zero a comune, le quali servono l'una pel braccio lungo e l'altra pel braccio corto. Sottraendo le altezze delle due colonne l'una dall'altra si ha quella che misura la pressione atmosferica. Si usa oggi di porre lo zero delle due divisioni al di sopra del livello del pozzetto, e in questo caso partendo le due scale da una linea intermedia pg (Tav. IV, Fig. 121), basta sommare le indicazioni delle due scale per avere la differenza di livello delle colonne, che è la misura della colonna che cerchiamo.

Variazioni del barometro. Il barometro essendo un'istrumento che ci dà la misura della pressione atmosferica, serve a indicarci i cambiamenti di questa pressione. Nel trattato della meteorologia discorreremo assai a lungo di questi cambiamenti e delle loro cagioni. Per ora basterà indicare che si distinguono due sorta di variazioni nel barometro: le une diconsi *accidentali* perchè sfuggono ad ogni legge e non possono mai prevedersi; le altre diconsi *orarie*, riproducendosi con molta regolarità ad ore determinate. Le variazioni accidentali variano molto nei diversi climi. In certi paesi non produconsi mai; così nella zona equatoriale, il barometro rimane insensibile sotto le più forti burrasche: la sensibilità del barometro cresce colla latitudine. Nei nostri paesi il baro-

metro è assai sensibile, e indica sovente delle variazioni accidentali. In generale si osserva che il barometro s'innalza quando il cielo è sereno e s'abbassa allorchè si fa nuvoloso. I fisici si sono lungo tempo sforzati invano di spiegare la causa di questo fenomeno; ma si è infine riconosciuto che ciò dipende dalla natura dei venti che portano in Europa il buono e il cattivo tempo. Difatti già era stato osservato che i venti caldi fanno abbassare il barometro, e i venti freddi lo fanno innalzare: ora in Europa i venti di libeccio, che sono i più caldi, fanno abbassare il barometro, e poichè questi venti sono quelli che portano a noi la pioggia, questa è la cagione della coincidenza osservata. Invece i venti freddi grecali che a noi portano il buon tempo, fanno innalzare la colonna barometrica. Le variazioni orarie sono state osservate con molta attenzione da Raymond, il quale ha scoperto che si fanno colla seguente legge. Nell'inverno v'è un massimo di altezza alle 9 del mattino, un minimo alle 3 dopo mezzogiorno, e un secondo massimo alle 9 della sera; nell'estate il primo massimo ha luogo prima delle 8 del mattino, il minimo alle 4 dopo mezzogiorno, e il secondo massimo alle 11 della sera. Queste regolari variazioni fra un massimo ed un minimo del giorno si compiono per una lunghezza di soli due millimetri.

Rapporto tra il volume e la forza elastica dei gas. Abbiamo già osservato che ogni volta che un gas è compresso, esso diminuisce di volume, e la sua forza elastica cresce colla sua densità. Non conosciamo però ancora il rapporto che esiste fra le variazioni di volume di un gas e la sua forza elastica. Questo rapporto è stato trovato da Mariotte, ed è espresso da una legge che porta il suo nome.

Legge di Mariotte. L'apparecchio che serve a determinare la forza elastica dell'aria sotto differenti volumi si compone di un tubo (Tav. IV, Fig. 123) *ABCD* chiuso in *D* ed aperto in *A*; la parte *DC* di questo tubo, è divisa in parti di egual capacità, e i due bracci *DC* ed *AB* sono muniti di scale divise in centimetri e millimetri, le quali partono da una stessa linea orizzontale. Si comincia dall'introdurre nel tubo una piccola quantità di mercurio per separare l'aria rinchiusa nel tubo *DC* da quella contenuta nel tubo *AB*, ma in modo che il

liquido sia allo stesso livello nei due bracci, onde la colonna d'aria *DC* non sia premuta che dall'atmosfera. Si misura esattamente la lunghezza di questa colonna e s'introduce nel tubo *AB* una tal quantità di mercurio che la differenza di livello del mercurio nei due tubi sia eguale all'altezza del barometro. Si riconosce allora che la colonna d'aria è ridotta alla metà. Perciò la sua densità si è raddoppiata, e si è pure raddoppiata la pressione a cui fa equilibrio. Sarà dunque nello stesso rapporto della sua densità e della sua pressione cresciuta anche la sua forza elastica. La pressione è in questo caso eguale a due volte la pressione atmosferica, o, come si dice, a due *atmosferae*. Se si aggiungerà nel braccio *AB* tanto mercurio da far divenire la sua colonna alta due volte la colonna barometrica, si osserverà che la colonna d'aria si sarà ridotta ad $\frac{1}{4}$ del suo volume primitivo. La pressione è in questo caso eguale a tre *atmosferae*. La forza elastica e la densità sono dunque cresciute come le pressioni, e il volume ha sempre variato in ragione inversa di queste pressioni. Questa è la legge di Mariotte, la quale si esprime in questi termini: *I volumi occupati da una stessa massa di aria sono in ragione inversa delle pressioni che essa subisce, e le sue densità variano in ragione diretta di queste pressioni e delle sue forze elastiche.*

Questa legge si verifica anche alle pressioni minori di un'atmosfera. L'apparecchio che serve a questo scopo è semplicissimo (*Fig. 124*). *AB* è un tubo chiuso nella sua estremità superiore, diviso in parti di eguale capacità, contenente un certo volume di aria, ed immerso in un vaso *CD* pieno di mercurio; quando il liquido è alla stessa altezza al di dentro e al di fuori, l'aria è sottoposta alla pressione dell'atmosfera, e quando si solleva il tubo l'aria si dilata, la sua densità diminuisce per conseguenza, e quindi anche la sua forza elastica, ed il mercurio allora si solleva nell'interno del tubo al di sopra del livello esterno. La pressione che essa allora esercita è eguale a quella dell'atmosfera diminuita dell'altezza della colonna di mercurio sollevatasi al di sopra del livello esterno. Misurando il volume dell'aria nelle diverse posizioni del tubo e le pressioni alle quali quest'aria è sottoposta, le quali ottengono sottraendo dalla pressione barometrica l'altezza del mercurio

nel tubo sul livello esterno, si trova la legge di Mariotte verificata a pressioni inferiori a quella dell'atmosfera. È indispensabile che in tutte queste esperienze l'aria di cui si misura la forza elastica sia perfettamente priva di umidità, perchè il vapore acquoso è dotato, come vedremo, di forza elastica propria. Convienne anche tener costante la temperatura per tutto il tempo dell'esperienza, perchè il solo calore è capace di far variare la forza elastica dei gas. In luogo dell'aria possono adoperarsi altri gas; basterà di adattare al tubo *AB* un robinetto che possa mettersi in comunicazione con un pallone pieno del gas sul quale si vuole operare.

Arago e Dulong sono giunti con un apparecchio convenientemente costruito a confermare la legge di Mariotte sull'aria fino alla pressione di 27 atmosfere. Petit e Dulong hanno pure verificato questa legge sui varj gas sottoponendoli a temperature assai diverse.

Limiti della legge di Mariotte. Secondo le recenti e scrupolose ricerche di Regnault parrebbe che l'aria, il gas azoto ed il gas acido carbonico non seguano esattamente questa legge; ma che si comprimano un poco più di quello che si richiederebbe secondo tal legge. Il gas idrogeno invece prova una compressione minore di quella data dalla legge medesima, e la sua compressione risulta minore, a misura che la pressione aumenta.

Inoltre la legge di Mariotte ha un certo limite per tutti quei gas che sottoposti a delle forti pressioni, dopo aver diminuito successivamente di volume, finiscono col passare allo stato liquido. Questi gas divengono sempre più compressibili, a misura che si avvicinano al punto di cambiare di stato.

Coercibilità e liquefazione dei gas. Chiamansi *gas coercibili* o *non permanenti* quei gas che sottoposti a delle forti pressioni riduconsi allo stato liquido, mentre diconsi *permanent* quelli che per anco non si è riusciti a liquefare. Tra i primi ve ne ha alcuni che possono esser liquefatti anche alla pressione ordinaria per mezzo di un grande raffreddamento. Vedremo nel trattato del calore come il raffreddamento produca questo cambiamento di stato. Basti per ora ritenere che quanto più si raffredda un gas non permanente, tanto minore sarà la

pressione capace di ridurlo allo stato liquido. L'aria, i gas semplici che la compongono, ossigeno e azoto, l'idrogeno, il biossido d'azoto e l'ossido di carbonio sono i soli corpi aeriformi permanenti. Può darsi però che si giunga un giorno a produrre una tal pressione e un tal raffreddamento che uniti insieme producano ancora la liquefazione di questi gas. L'apparecchio più semplice per la liquefazione dei gas è quello immaginato da Davy e da Faraday. Consiste in un tubo di vetro a pareti molto grosse, e gli si dà la forma indicata dalla *Fig. 125*; s'introducono nelle sue curvature le sostanze che per la loro reazione debbono produrre il gas che devesi liquefare; poscia chiudonsi gli orifizj del tubo colla fusione del vetro. Si rovescia il tubo in modo da radunare ad una delle sue estremità le sostanze introdotte. Il gas che si sviluppa accumulandosi in un piccolo spazio produce una compressione sufficiente per liquefarne una porzione; non rimane allora, per separare il gas liquefatto dagli altri prodotti dell'azione chimica, che ad immergere uno dei bracci del tubo (*Fig. 126*), in un miscuglio frigorifico; il gas liquefatto distilla e viene a radunarsi nella parte fredda del tubo.

Volendo liquefare delle grandi masse di gas conviene adoprare dei grandi vasi metallici a pareti resistenti. Coll'apparecchio di Thilorier, si giunge non solo a liquefare delle quantità considerevoli di gas acido carbonico, ma ben ancora a solidificarle. Ecco in che consiste questo rimarchevole apparecchio (*Tav. V, Fig. 132*). *G* è un vaso cilindrico di circa 5 litri di capacità, ed abbastanza resistente per sopportare lungo tempo delle pressioni molto superiori a 100 atmosfere; chiudesi per mezzo di un turacciolo a vite, il cui asse è traversato da un piccolo canale, che chiudesi per mezzo del robinetto *c*. Questo recipiente è sostenuto, un poco al di sopra del suo mezzo, da due perni solidi, intorno ai quali può farsi girare per renderlo orizzontale, od anche per rovesciarlo. È questo il *generatore*. Per produrvi dell'acido carbonico liquido, vi si pone prima dell'acqua e del bicarbonato di soda, poi un peso conveniente d'acido solforico concentrato, contenuto in un lungo tubo di rame chiuso in basso. Poscia si chiude il recipiente col turacciolo indicato, e si fa girare il generatore

in modo da fare scolare l'acido solforico dal tubo in cui è contenuto, e mescolarlo cogli altri elementi. In meno di un quarto d'ora la reazione è terminata; l'acido carbonico, sviluppandosi in uno spazio ristretto, si liquefa per la propria pressione. Allora si fa passare nel recipiente *R*, situato orizzontalmente su di una tavola: a tal uopo si adatta ai due recipienti il piccolo tubo di rame *ef* che deve stabilire la comunicazione, e aprendo i due robinetti *c* e *g*, il gas si precipita dal generatore nel recipiente finchè non si stabilisce l'equilibrio di pressione: la quantità ne è sensibilmente maggiore quando il recipiente è circondato di ghiaccio. Si chiude il robinetto *g*, e si ripete tre o quattro volte questa operazione per ogni litro d'acido carbonico liquido che vuolsi accumulare nel recipiente *R*, al quale si dà comunemente una capacità di due o tre litri. Il generatore ed il recipiente sono costruiti nel modo seguente: il vaso interno è di una grossa lastra di piombo e circondato da un vaso di rame rosso, e questo è strettamente serrato da cerchi di ferro in tutta la sua estensione; infine le due basi sono pure dischi di ferro. Facendo uscire dal recipiente, mediante un robinetto, il vapore dell'acido carbonico, questo invece di liquefarsi passa immediatamente allo stato solido, pel raffreddamento dovuto all'evaporazione; e produce una neve bianchissima in filamenti leggeri. Per raccogliarla Thilorier ha immaginato due coppe di sottil lastra metallica, le quali riuniscono a bajonetta, poichè l'una serve come di coperchio all'altra. I manichi *m* delle medesime sono circondati di panno, per difendere le mani dall'impressione dell'eccessivo freddo. Un piccolo tubo *d* s'introduce in un tubo affilato che adattasi al di sopra del robinetto *g* del recipiente *R*, in luogo del tubo di comunicazione *e f*. Allora aprendo il robinetto *g*, il gas fugge impetuosamente, incontra una lamina *l*, che gli dà un rapido movimento rotatorio nell'interno delle coppe, e dopo pochi secondi, dopo aver chiuso il robinetto *g*, basta separare queste due coppe per raccogliervi una massa leggiera e nevosa di acido carbonico solido.

Il quadro seguente indica le pressioni e le temperature alle quali i seguenti gas sono stati liquefatti.

Gas	Pressione	Temperatura
Acido solforoso	2 atmosfere	+ 7°
Cloro	4	— 15°
Acido idrosolforico	17	+ 8°
Acido carbonico	36	0°
Idem	73	+ 30°
Protossido d'azoto	51	+ 7°
Gas ammoniaco	5	0°

Manometri. Chiamansi *manometri* gl'istrumenti destinati a misurare la tensione dei gas e dei vapori, quando la medesima è superiore a quella dell'atmosfera. Si distinguono varj generi di manometri: noi parleremo soltanto del manometro ad aria libera e di quello ad aria compressa. In questi apparecchi l'unità di misura adottata è la pressione atmosferica o *atmosfera*, il cui valore ci è già noto.

Il *manometro ad aria libera* fornisce la misura in atmosfere della tensione di un gas o di un vapore contenuto in un vaso chiuso, mediante l'altezza della colonna di mercurio alla quale questa tensione può fare equilibrio. È formato da un tubo *BD* (Tav. IV, Fig. 127) di cristallo, lungo circa cinque metri, e di una vaschetta *D* di ferro, contenente del mercurio, nel quale trovasi immerso il tubo. Quest'ultimo è solidamente unito con mastice alla vaschetta, e fissato su d'una tavoletta lungo la quale v'ha un altro tubo *AC* di ferro, alto 4 metri. La pressione del gas o del vapore, si trasmette fino al mercurio della vaschetta per mezzo di questo tubo. Siccome i manometri servono nel maggior numero dei casi a misurare la tensione del vapore acqueo, la cui temperatura elevata rammollirebbe il mastice col quale il tubo è fissato alla vaschetta, così si riempie il tubo *AC* di acqua, la quale riceve direttamente la pressione del vapore, e la trasmette al mercurio. Per graduare questo manometro, si lascia che l'orifizio *A* comunichi coll'atmosfera, ed al livello in cui si arresta il mercurio entro il tubo di cristallo, si segna la cifra 1, che esprime un'atmosfera: quivi comincia la scala; ma è chiaro che la medesima non potrà proseguirsi segnando

di 76 in 76 centimetri le cifre 2, 3 ec., indicanti le successive atmosfere, perchè mentre la colonna di mercurio da un lato si solleva, si abbassa dall'altro; ed inoltre perchè da un lato, gravita sulla colonna del mercurio, una colonna d'acqua di una certa altezza. Nondimeno conoscendo in che rapporto si trovano le sezioni dei due tubi, e determinando il valore di quest'ultima pressione, si potranno facilmente calcolare le altezze a cui dovranno segnarsi le successive atmosfere.

Il manometro ad aria libera è usato soltanto per le pressioni che non sorpassano cinque a sei atmosfere, imperciocchè pressioni superiori a queste esigerebbero dei tubi troppo lunghi, e in conseguenza incomodi. Allora si fa uso del *manometro ad aria compressa*. La *Fig. 128, Tav. IV*, rappresenta la più semplice disposizione di questo apparecchio. Il tubo *ab* comunica col vaso che contiene il gas compresso, il tubo *bce*, la cui estremità *e* è chiusa, contiene del mercurio e dell'aria. Supponiamo che quando l'estremità *a* del tubo comunica coll'atmosfera, il mercurio s'innalzi nel tubo *de* fino al punto *d*: quando la pressione alla quale l'aria è sottoposta diverrà doppia, il volume dell'aria sarà la metà, e diverrà 10 volte più piccolo se la pressione si farà 10 volte maggiore. Perciò se il tubo *ed* sarà cilindrico, dividendo la sua lunghezza in 100 parti eguali, la scala indicherà la pressione alla quale l'aria è sottoposta; e la forza elastica del gas che agisce sul mercurio sarà eguale a quella dell'aria contenuta in *ed*, più la differenza dell'altezza del mercurio nei tubi *bc* e *ce*. Perciò aggiungendo questa differenza all'altezza della scala si avrà la pressione del gas. Onde evitare la necessità di due scale si dà spesso ai manometri ad aria la forma indicata dalla Figura 129. Il pozzetto *MN*, avendo un diametro assai grande rispetto a quello del tubo, si può supporre senza errore sensibile che il livello del liquido vi rimanga costante. Si può anche impiegare un manometro consistente in un tubo capillare contenente dell'aria secca separata dall'aria esterna per mezzo di una bolla di mercurio che serve d'indice (*Tav. IV, Fig. 130*). Quando il manometro dev'essere immerso in un liquido, ci possiamo servire del liquido stesso per comprimere direttamente l'aria del manometro. Così accade nel piezometro, già

da noi descritto. Le indicazioni di questi strumenti non sono fra loro paragonabili se non quando la temperatura è la stessa, perchè la forza elastica dei gas varia con essa.

I così detti *tubi di sicurezza* o di *Welter*, che adoprano i chimici nella preparazione dei gas non sono altra cosa che manometri ad aria libera. Essi applicansi alle storte od ai palloni di vetro in cui si sviluppa qualche fluido aeriforme, e mentre servono a indicare la pressione dei medesimi, hanno per iscopo principale di prevenire il fenomeno conosciuto col nome di *assorbimento*. La Figura 133 Tav. V rappresenta una storta munita del suo tubo di sicurezza: è questo un tubo *CB* doppiamente ricurvo che adattasi per mezzo di un turacciolo di sughero alla tubulatura della storta, e contenente una certa quantità di acqua o di un liquido qualunque. Supponiamo che in conseguenza del calore fornito da una lampada a spirito, si sviluppi dalla storta un gas che passi nella campana *G*. Finchè la forza elastica di questo gas sarà eguale alla pressione atmosferica, il liquido si sosterrà allo stesso livello nei due rami del tubo; ma non appena questo equilibrio cesserà, la differenza di pressione sarà indicata dalla differenza di livello del liquido nei due rami stessi. Se si togliesse rapidamente la lampada, il gas dell'interno della storta perderebbe una porzione della sua forza elastica, e l'acqua in cui è immerso il collo della storta, tenderebbe tosto a salirvi, e ciò potrebbe dar luogo ad una rottura se la storta fosse sempre calda. Il tubo di sicurezza previene questo inconveniente; poichè a misura che la forza elastica del gas della storta diminuisce, la colonna liquida racchiusa nel ramo *CB* del tubo di sicurezza, s'abbassa di continuo in virtù della pressione atmosferica, fino a permettere all'aria esterna di penetrare nella parte curva dell'apparecchio, in *B*, e d'introdursi, traversando il liquido della palla, nell'interno della storta per ristabilirvi l'equilibrio.

Applicazione del barometro alla misura delle altezze. Ora che conosciamo la legge di Mariotte sul rapporto che esiste fra le densità dei fluidi aeriformi e le pressioni cui sono sottoposti, possiamo intendere facilmente in qual modo il barometro possa servire alla misura delle altezze. Gli abbassamenti cui va sog-

getta la colonna barometrica a misura che c'inalziamo nell'atmosfera, possono servire alla misura dell'altezza di un luogo qualunque al di sopra del livello del mare. Se l'atmosfera avesse da per tutto la stessa densità, il problema della determinazione delle altezze per mezzo degli abbassamenti del barometro sarebbe semplicissimo. In questo caso infatti la pressione dell'atmosfera sul mercurio, e conseguentemente l'altezza della colonna barometrica diminuirebbe con una progressione uniforme a misura che ci sollevassimo attraverso degli eguali strati d'atmosfera. Se accadesse per esempio che in riva al mare uno strato d'aria della grossezza di 100 piedi equivalesse in peso ad una linea di mercurio, il barometro dovrebbe sempre abbassarsi di una linea per ogni 100 piedi di elevazione, perciò a 200 piedi accadrebbe un abbassamento di due linee, a 300 piedi di 3 linee, e così via discorrendo. Conseguentemente se l'aria fosse un fluido di densità uniforme, per trovare l'altezza di una montagna, basterebbe osservare primieramente l'altezza del barometro al livello del mare e quindi sulla cima della montagna medesima, e calcolare 100 piedi di elevazione per ogni linea di differenza che vi fosse fra l'altezza della colonna di mercurio alle due stazioni.

Il metodo ora indicato non può esser posto in pratica, perchè riposa sopra un'ipotesi completamente falsa, quella cioè della uniforme densità dell'atmosfera. Noi sappiamo infatti che la densità dell'atmosfera, invece di esser da per tutto la stessa che alla superficie della terra, diminuisce invece con una rapidissima progressione, a misura che c'inalziamo. Supponiamo per es. che salendo a 100 piedi, il barometro si abbassi di una linea: ascendendo ad altri 100 piedi, il barometro non si abbasserà più di un'altra linea, ma di una quantità minore, giacchè questo secondo strato d'atmosfera trovandosi più alto, e quindi meno compresso del primo, ne risulta che il suo peso, e quindi la pressione che esercita, sarà inferiore a quella del primo. Lo stesso dicasi per un'ascensione di altri 100 piedi: questo terzo strato, essendo meno compresso del secondo, e quindi meno denso, produrrà un abbassamento più piccolo ancora. Lo stesso dovrebbe ripetersi per tutti gli strati successivi che s'incontrerebbero nella supposta ascensione. Segue

da ciò che per dedurre la differenza fra l'altezza di due strati atmosferici, per mezzo dell'abbassamento del barometro, conviene conoscere il rapporto che esiste tra le densità di questi strati e la loro rispettiva altezza. Ora partendo dalla legge di Mariotte, si può dimostrare, che le altezze degli strati successivi dell'atmosfera crescendo in progressione aritmetica, le densità corrispondenti diminuiscono in progressione geometrica. Infatti supponiamo che AH (Tav. V, Fig. 134) rappresenti l'altezza di tutta l'atmosfera, cioè a dire che questa retta sia condotta verticalmente dal suolo fino ai confini dell'atmosfera, e supponiamo inoltre, che si sieno condotte perpendicolarmente a questa retta delle linee orizzontali ad eguali distanze le une dalle altre, rappresentanti i diversi strati dell'atmosfera. Sia P il peso di tutta la colonna atmosferica che preme sulla superficie della terra, P' il peso di tutta la colonna di aria che preme sul primo strato, P'' quello di tutta la colonna d'aria che preme sul secondo strato, e così di seguito. Sia D la densità del primo strato, D' quella del secondo, D'' quella del terzo ec. ec. $P - P'$ sarà il peso del primo strato inferiore; $P' - P''$ sarà il peso del secondo, $P'' - P'''$ quello del terzo, e così di seguito. Ora i pesi di due quantità di uno stesso gas, prese sotto lo stesso volume, sono proporzionali alle densità: perciò supponendo che i varj strati d'aria da noi considerati, abbiano tutti dei volumi perfettamente eguali, si avrà la proporzione: $P - P'$ peso del primo strato, sta al peso $P' - P''$ del secondo strato, come $D : D'$; ma già $D : D' = P' : P''$, giacchè le densità sono proporzionali alle pressioni; perciò a motivo del rapporto comune di queste due proporzioni si avrà

$$P - P' : P' - P'' = P' : P'',$$

da cui eguagliando il prodotto degli estremi con quello dei medj si ha

$$PP'' - P' P' = \frac{2}{P'} - P' P'$$

$$\text{ovvero } PP'' = \frac{2}{P'},$$

eguaglianza, da cui si trae la proporzione

$$P : P' = P' : P''$$

Si troverebbe parimente che $P' : P'' = P'' : P'''$, e così di seguito; si avrà dunque la progressione geometrica

$$\therefore P : P' : P'' : P''' \dots \text{ec. ec.},$$

che è evidentemente decrescente, poichè P rappresenta il peso di tutta l'atmosfera, mentre P' rappresenta questo peso diminuito di quello del primo strato, P'' questo medesimo peso diminuito di quello dei due primi strati, e così di seguito. D'altronde è evidente che le altezze dei differenti strati d'aria a partire dal suolo formano una progressione aritmetica crescente, e poichè, dall'altro canto, le densità sono proporzionali alle pressioni, è chiaro che le densità dei differenti strati d'aria, sono in progressione geometrica decrescente. Ma noi sappiamo che i logarimmi sono dei numeri in progressione aritmetica che corrispondono a dei numeri in progressione geometrica. Dunque l'altezza di un punto dato dell'atmosfera al di sopra di uno strato qualunque, può esser riguardata come il logarimmo della sua densità. D'altronde la densità di uno strato qualunque è indicata dall'altezza della colonna barometrica; dunque l'altezza dell'atmosfera nel luogo di osservazione, può esser considerata come il logarimmo dell'altezza della colonna barometrica. Perciò se si avesse una tavola calcolata con questo sistema di logarimmi, per trovare la differenza tra l'altezza di due strati atmosferici, basterebbe conoscere la differenza fra i logarimmi delle loro densità, espresse dalle altezze della colonna barometrica.

Questo metodo condurrebbe a dei risultati perfettamente esatti, se il grado di densità dell'aria dipendesse unicamente dalla pressione degli strati superiori dell'atmosfera. Ma altre circostanze, e particolarmente la temperatura, contribuiscono a far variare questa densità. Se per esempio la temperatura è alta l'aria aumenterà di volume, e la sua densità diminuirà; se invece la temperatura è bassa, l'aria diminuirà di volume e diverrà più densa sotto la stessa pressione. È stato adunque necessario d'introdurre nella formola barometrica le correzioni necessarie per ricondurre le altezze calcolate a ciò che sarebbero nel caso di una temperatura uniforme.

Su questi principj è fondato il seguente metodo di De-Luc e Pictet per calcolare le altezze per mezzo del barometro.

Questo è il più semplice, e benchè non sia rigorosamente esatto, dà per altro dei risultati che poco differiscono dal vero.

Si esamina con molta attenzione l'altezza del barometro in linee alle due stazioni, di cui si vuol paragonare l'altezza. Si prendono i logarimmi di questi due numeri di linee, e si sottrae il numero più piccolo dal più grande; la differenza moltiplicata pel numero 10,000 dà in tese ed in frazioni di tese, la differenza fra l'altezza delle due stazioni. Così per esempio supponiamo che il barometro in riva al mare, sia a 28 pollici, ovvero a 336 linee, e che alla sommità di una collina sia a 330 linee. Si avrà

$$\text{Log. } 336 = 2,526339$$

$$\text{Log. } 330 = 2,518513$$

$$\text{Differenza} = 0,007826$$

Dunque 78,26 tese è la differenza fra l'altezza delle due stazioni.

Resta non di meno a farsi una correzione per la temperatura dell'atmosfera, la quale cangia di volume, secondo che è più o meno riscaldata. Deluc stabilì per mezzo di una numerosa serie di osservazioni che potevasi prendere la temperatura di 12° Reamur, come temperatura fissa e normale, cioè a dire quella in cui non v'ha correzione da farsi; che se la temperatura media delle due stazioni era più alta di quella, bisognava, per ottenere esattamente l'altezza, aggiungere all'altezza approssimativa calcolata in tese tante volte i 0,005 di quest'altezza, quanti gradi di Reamur eran compresi fra la temperatura media delle due stazioni e la temperatura di 12°. Se invece, la media delle due stazioni era al di sotto della temperatura normale, bisognava sottrarre questa stessa quantità dall'altezza totale ottenuta.

Così per es. supponiamo il termometro alla stazione inferiore a 18° R. ed alla stazione superiore a 14°. La media delle due stazioni sarà di 16°; quindi la differenza in più, fra questa media e la temperatura normale sarà di 4°. L'altezza approssimativa da correggersi, essendo di 78,26 tese, bisognerà aggiungere i 0,02 di questa quantità, ossia una tesa e $\frac{44}{100}$. L'altezza corretta diverrà dunque di 79,82 tese.

Se invece il termometro alla stazione inferiore fosse a 12° R. ed alla superiore a 6° , la media essendo di 9° ; la differenza in meno sarebbe di 3° , e perciò per la stessa altezza approssimativa di 78,26 tese, converrebbe sottrarre i 0,005 di questa quantità, ossia una tesa e $\frac{1}{100}$: quindi l'altezza corretta diverrebbe di 77,09 tese.

Maraldi e Cassini impiegavano un altro metodo per determinare le altezze per mezzo del barometro. Essi avevano osservato che quando il barometro segnava millimetri 760, era necessario elevarsi di $10^m, 5$ per ottenere l'abbassamento di un millimetro, e che negli strati successivi era necessaria una maggiore elevazione per ottenere lo stesso abbassamento della colonna barometrica; perciò per compensare l'effetto della diminuita densità praticavano di aggiungere all'altezza fondamentale per ogni millimetro di abbassamento $0^m, 15$ pel primo millimetro, $0^m, 30$ pel secondo, e così sempre progredendo pei successivi. Così per es. si voglia con questo metodo sapere quanto sia alto un colle, al cui piede il barometro segna millim. 760 ed alla cima 750. Si avrebbe in questo caso $10^m, 5 \times 10$, più la somma della progressione aritmetica che ha per primo termine $0^m, 15$, che è composta di dieci termini e che ha per rapporto 0,15. Si avrebbe quindi $105^m + 8^m, 25 = 113^m, 25$.

Se poi alla stazione inferiore non si abbia l'altezza barometrica normale di 760 millimetri, allora si calcoleranno ancora $10^m, 5$ per ogni millimetro di abbassamento, e per l'aggiunta da farsi si defalcheranno dalla serie tanti termini, cominciando dal primo $0^m, 15$ quanti sono i millimetri di cui la colonna barometrica al piede del colle differisce da 760. Talchè se il barometro alla base del medesimo segnasse millimetri 753 ed alla sommità si avesse $745^{\text{millim.}}$, il primo termine della serie da aggiungersi al prodotto $10^m, 5 \times 8 = 84^m$, sarebbe 1,20, il secondo 1,35 ec.; e con quest'aggiunta sarebbe l'altezza eguale a $84^m + 13^m, 80 = 97^m, 80$. Questo metodo può condurre a dei risultati assai diversi dal vero a motivo della temperatura, la quale non si conserva costante in tutti gli strati dell'atmosfera. Laplace ha dato una formola che considera anche questo elemento, e per mezzo della quale si può trovare la

differenza di altezza di due stazioni , nei luoghi situati a latitudini non molto discoste da quella di 45° . Chiamando A ed a le altezze barometriche alle due stazioni, T e t le temperature corrispondenti , ed x la differenza di altezza delle due stazioni , si ha

$$x = 18393^m \left(1 + \frac{2(T + t)}{1000} \right) \log. \frac{A}{a}$$

Per mezzo di questa formola può aversi approssimativamente il limite dell'atmosfera , almeno sino a quell'altezza in cui la forza elastica dell'aria fa equilibrio ad una colonna barometrica alta un millimetro , che è il maggior grado di rarefazione a cui giungiamo colle nostre migliori macchine pneumatiche. L'altezza dell'atmosfera a questo limite si trova colla indicata formola eguale a 46,629 metri , cioè all'incirca di 10 leghe.

Volendo determinare le altezze col barometro è utile , quando la distanza delle due stazioni non sia molta , di fare le due osservazioni simultaneamente. Quando questo non si possa , converrà calcolare sopra un certo numero di osservazioni fatte in giorni d'aria calda e serena , e in ore poco lontane dal mezzogiorno , che sappiamo esser quelle della media altezza barometrica del giorno.

Equilibrio dei corpi immersi nei gas. Il principio d'Archimede da noi verificato pei corpi immersi nei liquidi si verifica pure pei corpi immersi nei gas. Un corpo immerso nell'aria o in qualunque altro gas tende a cadere con una forza eguale al suo peso , ed è spinto in senso contrario con una forza eguale al peso dell'aria che sposta ; dal che resulta che è in equilibrio se il suo peso è eguale al peso del volume d'aria che sposta , cade se è maggiore , e s'inalza se è minore. Questo principio si deduce dalle stesse considerazioni che esponemmo nell'idrostatica.

I corpi tutti adunque immersi nell'aria perdono una porzione del loro peso , eguale al peso di un volume d'aria eguale al loro. Perciò i corpi più voluminosi ne dovranno perdere più degli altri. Se si avranno due globi di un volume diverso e che nell'aria abbiano lo stesso peso, nel vuoto non peseranno più egualmente. Sieno questi due globi A e B (Tav. IV, Fig. 131) posti all'estremità di una piccola bilancia , e si facciano per-

lattamente equilibrio nell'aria. Pongansi sotto la campana della macchina pneumatica. Appena si fa il vuoto l'equilibrio fra di essi non si conserva, e la bilancia cade dal lato del globo più voluminoso. È facile spiegare questo fenomeno. Il globo più voluminoso è realmente più pesante dell'altro; ma gli faceva equilibrio nell'aria a motivo della perdita maggiore di peso che subiva in questo fluido, spostandone un volume maggiore.

V'ha dunque una correzione assai importante da farsi allorquando si determina il peso assoluto di un corpo e la sua densità. Convien rettificare l'errore che si commette in grazia della perdita di peso che soffre per lo spostamento dell'aria. Per fare questa correzione basterà determinare il volume del corpo, quindi calcolare il peso di un egual volume di aria ed aggiungerlo al peso ottenuto.

Globi areostatici. Sul principio d'Archimede applicato ai corpi immersi nei gas, è fondata la costruzione dei globi areostatici. Consistono in invogli leggieri, ordinariamente di forma sferoidale, contenenti dell'aria dilatata o un gas più leggiero dell'aria, i quali in grazia della loro leggerezza s'innalzano nell'atmosfera. Ciò non può accadere altrimenti. Difatto, la spinta che questi corpi ricevono è eguale al peso di un egual volume d'aria spostata, che è maggiore del loro proprio, quindi debbono essere necessariamente spinti in alto. Se i globi areostatici non fossero suscettibili di aumentare di volume nell'innalzarsi nell'atmosfera, di poco si solleverebbero, poichè l'aria rarefacendosi sempre più nelle regioni superiori, essi ne incontrerebbero ben tosto uno strato della stessa densità loro; perciò non si riempiono mai completamente di gas, cosicchè a misura che si elevano, facendosi sempre più leggiera l'aria che traversano, per la diminuita pressione aumentano di volume, spostano una maggior quantità di fluido, e così continuano a salire.

I primi palloni furono costruiti da Montgolfier nel 1782. I palloni alla Montgolfier consistono in globi di carta verniciata o di taffetà, aventi nella loro parte inferiore un'apertura di varj decimetri. Al di sotto di questa apertura, e a qualche distanza è sospeso un leggiero paniere, contenente un

corpo in combustione, come per esempio una spugna impregnata di alcool. Il calore di tal combustione dilata l'aria del pallone, ed esso comincia a salire.

Poco dopo l'invenzione di Montgolfier, Charles immaginò di sostituire all'aria calda il gas idrogeno, che è oltre 14 volte più leggiero dell'aria, essendo la sua densità $\approx 0,0691$. L'involgio dei globi areostatici a gas idrogeno è ordinariamente di seta coperta di una vernice di gomma elastica. L'emisfero superiore è contenuto in una rete di seta, i cui fili discendono a sostenere la navicella che porta i viaggiatori. In questo emisfero v'ha una valvola chiusa costantemente da una molla, che può aprirsi per mezzo di una corda che scende nella navicella. Quando si vuole aumentare la forza ascensionale del pallone, se ne diminuisce il peso, gettando porzione della zavorra che si era caricata: per diminuirlo basta aprire la valvola e diminuire il volume del pallone lasciando uscire una porzione del gas. Montgolfier immaginò il *paracadute*, che è una specie di ombrello, di cui la circonferenza è fissata con corde alla navicella. Quando, per qualche sinistro, il pallone sgonfiatosi discende precipitosamente colla velocità dovuta a tutto il suo carico, il paracadute si apre, e per la resistenza che incontra nell'aria, la caduta si rallenta.

Movimento dei corpi gassosi. I corpi gassosi possono esser posti in moto da varie cause: 1.^o dall'azione del calore; 2.^o dal movimento dei corpi solidi o liquidi che loro trasmettono una parte della propria velocità; 3.^o infine dalla loro propria elasticità, allorchè si fanno uscire nel vuoto o in un mezzo che abbia minore elasticità. Tratteremo più innanzi dei movimenti prodotti dal calore, e parleremo per ora soltanto di quelli generati dalle altre due cause che abbiamo accennato.

Movimenti comunicati. Allorquando un corpo è in movimento nell'atmosfera, ne comunica una porzione all'aria che incontra: da ciò le correnti artificiali che si estendono ad una massa d'aria tanto più grande quanto più grande è la forza motrice. Le macchine che sono destinate a porre l'aria in moto per comunicazione portano il nome di *ventilatori*. Perciò sono ventilatori i ventagli, i soffietti, i mantici, le macchine destinate a separare da certi corpi la polvere da cui sono imbrat-

tati, e quelle che servono al rinnovamento dell'aria nei luoghi rinchiusi. Ci limiteremo a descrivere il ventilatore a forza centrifuga, e le trombe o macchine soffianti.

Il ventilatore a forza centrifuga si compone di un tamburo di legno *ABCD* fisso, di poca profondità e di un diametro assai grande (*Tav. V, Fig. 135*), traversato nel centro da due fori circolari, ed alla circonferenza da una o da più aperture. L'asse del cilindro è traversato da un'asta di ferro *MN*, mobile per mezzo di un manubrio; essa è fornita di quattro ali che percorrono l'interno del tamburo, durante la sua rotazione. Quando si fa girare il manubrio, l'aria percossa dalle ali si muove circolarmente, e in grazia della forza centrifuga che si genera fugge dalle aperture della circonferenza, nel tempo che l'aria esterna s'introduce dalle aperture centrali del tamburo. Quando questo apparecchio è destinato a spingere al di fuori una corrente di aria, non ha che un'apertura alla circonferenza, colla quale, per mezzo di un tubo, si pone in comunicazione il luogo in cui si vuole spingere la corrente; quando invece l'apparecchio ha per oggetto di aspirare l'aria di un certo luogo, si fanno comunicare gli orifizj del centro col luogo dal quale l'aria dev'essere aspirata.

Le trombe, o macchine soffianti, sono frequentemente adoperate negli opificj metallurgici, per produrre le correnti d'aria destinate ad alimentare i grandi forni fusorj. La *Fig. 136, Tav. V*, è una sezione di uno di questi apparecchi. *A* è un serbatoio di acqua, *B* un tubo aperto alle sue estremità, il quale comunica colla sua parte superiore col serbatoio *A* e colla sua parte inferiore con una cassa *C*, fornita di due aperture, l'una *D* posta in basso, l'altra superiore *E*, sulla quale è disposto un tubo *EF* terminato dall'ugello *G*. L'orifizio superiore del canale *B* è ristretto da delle tavole *aa*. L'apertura formata dalla parte inferiore di queste tavole dicesi strozzatura. Al livello della strozzatura le pareti laterali del canale sono traversate da diversi fori inclinati *cc*, che chiamansi *aspiratori*. Infine l'apertura inferiore del canale *B* trovasi ad una piccola distanza al di sopra di uno scalino fisso *d*, sul quale va a rompersi la corrente dell'acqua. L'acqua del bacino superiore *A* penetra per la strozzatura nel canale ver-

ticale, e trascina nel suo movimento l'aria esterna che trovasi così aspirata dalle aperture cc , ed una corrente continua d'aria esce dall'ugello G .

La macchina soffiante adoprata per gli alti forni destinati alla fusione del ferro, è di un effetto molto più considerevole della precedente. Consiste in un gran cilindro di ghisa, nel quale si muove uno stantuffo P (*Tav. V, Fig. 137*) parimente di ghisa, la cui circonferenza è guarnita di trecce di canapa o di cuojo, onde lo stantuffo chiuda ermeticamente il cilindro. Il cilindro o corpo di pompa è chiuso in alto ed in basso. Due aperture laterali cc' sono praticate nel coperchio superiore; l'una c è munita di una valvola che apresi dal di fuori in dentro, l'altra c' comunica con un cilindro laterale di ghisa, ed è munita di una valvola che si apre dal di dentro al di fuori. Il fondo del cilindro ha egualmente due aperture; l'apertura e munita di una valvola che si apre dal di fuori al di dentro, stabilisce la comunicazione della parte inferiore del cilindro coll'aria esterna, e l'apertura e' , che comunica col cilindro laterale B , la quale è munita di una valvola che si apre dal di dentro in fuori. Supponiamo che lo stantuffo sia giunto al punto più alto della sua ascensione, e che cominci a discendere. Se le valvole c e c' sono chiuse, l'aria si dilaterà nella parte superiore del corpo di pompa, e prenderà una forza elastica sempre più debole. La pressione esterna sorpasserà dunque la pressione interna; la valvola c' sarà fortemente pigiata contro l'apertura c' , ed intercetterà la comunicazione fra la parte superiore del corpo di pompa e il cilindro laterale B . La valvola c invece si aprirà, e l'aria esterna penetrerà nella parte superiore del corpo di pompa. L'aria contenuta nella parte inferiore del corpo di pompa sarà invece ricacciata in uno spazio sempre più piccolo durante la discesa dello stantuffo; la sua forza elastica diverrà superiore alla forza elastica dell'aria esterna, la valvola e sarà premuta contro l'apertura e , e la chiuderà; la valvola e' si aprirà e l'aria interna sarà scacciata nel cilindro laterale B , e di là dall'apertura o nei canali di ferro che la conducono al forno. Così durante la discesa dello stantuffo l'aria esterna è aspirata nella parte superiore del corpo di pompa, mentre che l'aria della parte

inferiore è mandata nei canali; l'inverso accade durante l'ascensione dello stantuffo, cioè la parte inferiore del corpo di pompa aspira l'aria esterna, e la parte superiore manda l'aria ai canali. La macchina soffiante fornisce adunque dell'aria al forno durante i due periodi del movimento dello stantuffo, e mantiene un soffio continuo. Per dare allo stantuffo il movimento alternativo che abbiamo descritto, se ne attacca l'asta, per mezzo di un parallelogrammo articolato, alla seconda estremità di un bilanciere di una macchina a vapore.

Scolo dei gas compressi. Allorchè un gas è compresso, esce da un'apertura qualunque fatta nel recipiente in cui è contenuto, con una velocità dipendente dalla differenza delle pressioni interna ed esterna e dalla sua densità. Si calcola cotesta velocità considerando il gas come un liquido della sua stessa densità, sottoposto ad una pressione eguale a quella che resulta dalla sua forza elastica, diminuita di quella del mezzo in cui esce. Per avere questa velocità basta trovare l'altezza di una colonna liquida densa come il gas, ed il peso della quale sia eguale alla pressione che produce lo scolo: la velocità cercata sarà eguale a quella che acquisterebbe un corpo cadendo nel vuoto da quell'altezza. È insomma il teorema di Torricelli applicato da Bernouilli allo scolo dei gas.

Cerchiamo per esempio con qual velocità l'aria a 0°, e sotto la pressione ordinaria sgorgerebbe in uno spazio vuoto. La pressione ordinaria di 0^m, 76 equivale al peso di una colonna d'acqua alta 10^m, 33, e poichè la densità dell'aria è = 0,0073 di quella dell'acqua, ne viene che l'altezza della colonna d'aria equivalente a 76 centimetri di mercurio sarà data dalla proporzione

$$0,0013 : 1 :: 10^m, 33 : x$$

$$x = \frac{10^m, 33}{0,0013} = 7946 \text{ metri.}$$

Ora un corpo cadendo da quest'altezza acquisterebbe una velocità di 394^m, 8 per secondo, e questa è la velocità teorica con cui l'aria, sotto la pressione ordinaria entra nel vuoto. Se invece che nel vuoto il gas fosse sgorgato in un altro gas meno denso, si sarebbe dovuto sottrarre dalla pressione del primo quella del secondo.

Onde verificare questi risultati colla esperienza, si ricorre a degli apparecchi conosciuti col nome di *Gasometri*, i quali servono a misurare la quantità di un gas uscito in un dato tempo sotto una data pressione.

Il gasometro consiste in una campana metallica cilindrica posta sull'acqua e sostenuta da una corda che scorre su due pulegge fisse o ed o' , (*Tav. V, Fig. 138*) e la cui estremità inferiore è carica di un peso eguale a quello della campana. La campana è guarnita superiormente di un'appendice sulla quale possono disporsi delle sottili lamine traversate da orifizj diversi, ovvero da tubi di differenti forme. È pure fornita di un manometro abc che serve a misurare la pressione del gas, allorchando si diminuisce il peso P , ovvero quando si carica la campana di nuovi pesi; e si misura la quantità di gas scolato durante un tempo dato dall'abbassamento della campana, e la velocità dividendo il volume del gas scolato per la sezione dell'orifizio. L'esperienza dimostra che questa velocità non corrisponde colla velocità che si deduce dal teorema di Bernouilli, ma che è minore. Se ne è concluso per l'analogia coi liquidi che debba accadere anche nei gas la contrazione della vena.

Allorchè un gas scola per lunghi tubi, la velocità è molto più piccola di quando lo scolo ha luogo per orifizj fatti in pareti sottili, e tanto più quanto più i tubi sono lunghi e piccolo il loro diametro, e quanto maggiore è la velocità dello scolo.

I gasometri hanno ricevuto un'applicazione di una grande importanza dopochè l'illuminazione a gas ha subentrato nelle città a quella ordinaria ad olio. Essi servono di serbatoio al gas della illuminazione e nel tempo stesso servono al suo scolo ed alla sua distribuzione. I gasometri dell'illuminazione a gas consistono in grandi cilindri ad un sol fondo, rovesciati su di una grande cisterna piena di acqua (*Tav. V, Fig. 139*). Questi cilindri sono fatti di larghe lamine di ferro, e sono sostenuti da una catena che passa su due pulegge, e che porta all'altra estremità dei contrappesi. Dal fondo della cisterna s'innalzano due tubi forniti di robinetto, i quali terminano al di sopra del liquido: serve uno di questi a portare il gas nella campana dalle storte entro cui si sviluppa, e l'altro, di cui si

apre il robinetto mentre il primo si chiude, lascia passare il gas nei tubi con cui comunica, i quali suddividendosi in un'infinità di ramificazioni vanno a terminare nei beccucci da illuminazione. A mano a mano che il gas s'introduce, la campana si solleva, ed empita che sia, se ne fa uscire il gas diminuendo i contrappesi. Il medesimo esce per effetto della pressione dovuta alla differenza fra il peso della campana e quello del contrappeso. Lo scolo del gas è costante, imperocchè la diminuzione di peso che soffre la campana nell'immergersi è piccola, ed in senso contrario di questa perdita agisce l'aumento della catena discesa, e la diminuzione di quella che porta i contrappesi e che è salita per conseguenza.

Reazione proveniente dello scolo dei gas. Le pressioni che si producono contro le pareti di un vaso qualunque pieno di un gas si distruggono mutuamente quando il gas non esce, e non possono imprimere alcun movimento al vaso. Non è più così quando avviene l'efflusso da un orifizio: la pressione opposta alla direzione del medesimo non è più distrutta dalla resistenza della parete soppressa, ossia dalla pressione che esercita il gas contro quei punti della parete da cui fluisce; il vaso è perciò necessariamente trasportato in senso contrario a quello dell'efflusso. Può facilmente mostrarsi questo principio per mezzo di una vescica unita ad un robinetto terminato con un tubo mobile intorno al suo asse, il quale riceve il gas pel suo centro, e lo lascia scolare da due orifizj laterali opposti. Premendo la vescica ed obbligando il gas ad escire con violenza, si vede il pezzo mobile ruotare in senso contrario a quello dello scolo. Devesi alla reazione prodotta dall'efflusso dei gas il rinculo delle armi a fuoco ed il movimento dei razzi. Infatti, quando s'infiama la polvere racchiusa nella culatta di un cannone, si sviluppa quasi istantaneamente un grandissimo volume di gas; questo gas preme con forza eguale tutte le pareti dello spazio nel quale è racchiuso; la parete la meno resistente, che è sempre formata dal proiettile, cede, e nello stesso tempo il cannone è spinto in senso contrario colla stessa forza; ma la velocità del rinculo è più piccola nel rapporto della massa del cannone a quella del proiettile, ed è distrutta bentosto dagli attriti. L'ascensione dei fuochi di

artificio ha sempre luogo in senso contrario all'uscita dei gas che formansi per la combustione della polvere.

Influenza della pressione atmosferica sull'efflusso dei liquidi. Quando parliamo dello scolo dei liquidi si suppone che tutto si riducesse alla pressione della colonna liquida, e quindi all'altezza della sua superficie di livello sul foro. Ma l'atmosfera preme sulla superficie del liquido, e preme sul liquido che esce dal foro, ed è ora di queste pressioni che noi dobbiamo valutare l'effetto.

Poichè la pressione atmosferica equivale al peso di una colonna d'acqua alta 32 piedi, è certo che fatto un foro nel fondo di un vaso pieno di liquido, di cui l'altezza non superi 32 piedi, e che sia esattamente chiuso in alto, non potrà il liquido uscirne se l'aria non s'introdurrà a prendere il suo posto. Difatti s'immerga in un liquido un tubo aperto in alto, e di cui l'orifizio inferiore non sia molto largo; questo tubo potrà essere sollevato pieno di liquido, tenendo chiuso l'orifizio superiore: quando si aprirà quest'orifizio, poichè l'atmosfera premerà egualmente sui due fori, inferiore e superiore, il liquido scolerà in virtù del proprio peso, come se la pressione atmosferica non esistesse. È necessario che il foro inferiore non sia molto largo, senza di che la colonna liquida si divide, e l'acqua scende perchè l'aria s'introduce nel suo posto. Lo stesso accadrà prendendo un recipiente cilindrico chiuso da una parte, come un bicchiere o una campana qualunque. Se dopo averli empiti di acqua, si applicherà un foglio di carta sull'orifizio, a contatto del liquido, si potrà rovesciare impunemente senza che ne esca il liquido; e ciò perchè il foglio impedisce la divisione della colonna e quindi l'introduzione dell'aria. Su questi principj sono fondati degl'istrumenti di un uso giornaliero, cioè la pipetta, il sifone, e le lampade a livello costante.

La *pipetta* consiste in un tubo cilindrico *ab* terminato superiormente ed inferiormente da un orifizio capillare. Quando s'immerge questo tubo in un liquido, gli orifizj *m* ed *n* (Tav. V, Fig. 140) essendo aperti, il liquido s'introduce nel tubo e s'innalza allo stesso livello del liquido esterno; se allora si chiude col dito l'orifizio *n* e si estrae l'istrumento, una parte

del liquido del tubo scolerà dall'orifizio m ; ma siccome l'aria non può rientrarvi, quella che v'era rinchiusa si dilaterà, e lo scolo si arresterà tosto che la pressione atmosferica esterna farà equilibrio alla pressione dell'aria interna dilatata, più la colonna liquida che resta nel tubo.

Il *sifone* è un tubo ricurvo $ABCD$ (*Tav. V, Fig. 141*) di vetro o di metallo aperto alle sue due estremità, di cui uno dei bracci è più lungo dell'altro. Quando il braccio più corto di questo istrumento è immerso in un vaso pieno di un liquido e tutto il tubo è pieno del medesimo liquido, questo scola dall'orifizio D , e continua a scolare fintantochè il liquido del vaso non è disceso sino al livello del punto A . Esaminiamo come ciò avviene.

All'orifizio A agiscono due forze in senso contrario: il peso della colonna liquida BA' che tende a farla discendere, e la pressione atmosferica che agisce sulla superficie del liquido contenuto nel vaso V , la quale tende invece a farla salire. All'orifizio D agiscono pure negli stessi rispettivi sensi le medesime due forze, cioè il peso della colonna liquida CD e la pressione atmosferica che agisce in D . Se i due bracci del sifone fossero eguali, o per meglio dire, se il braccio che non pesca nel liquido non scendesse al di sotto del livello A' , siccome le pressioni atmosferiche che agiscono in A e in D sono eguali e contrarie, e perciò si distruggono, le colonne liquide BA' e CD cadrebbero, in virtù del proprio peso, ciascuna dalla sua parte; ma poichè la colonna CD è più pesa della colonna BA' a motivo della sua maggiore altezza, la pressione atmosferica che agisce in D contrasta con una forza maggiore di quella colla quale la stessa pressione contrasta in A . Perciò accadrà come se la pressione atmosferica in D fosse minore, e quindi il liquido scolerà da questa parte in virtù della preponderanza della pressione che agisce su di A , ossia dell'eccesso del peso della colonna CD su quello della colonna BA' . A misura che lo scolo succede, si abbassa il liquido nel vaso, diminuisce la differenza di altezza fra le due colonne, e quindi la velocità dello scolo va sempre diminuendo. È inutile aggiungere che il sifone non potrebbe avere alcun effetto quando, trattandosi di travasare dell'acqua, il braccio più corto

avesse una lunghezza maggiore di 10 metri al di sopra del livello del liquido del vaso, poichè l'acqua non potrebbe sollevarsi fino a quell'altezza che è maggiore di quella della colonna barometrica.

Un sifone può esser riempito in due modi: 1.^o aspirando da uno dei bracci, dopo avere immerso l'altro nel vaso. In questo caso, onde il liquido non vada in bocca, all'estremità del braccio lungo trovasi un tubo sottile *ab*, dal quale si aspira, tenendo chiusa l'estremità *D* (Tav. V, Fig. 142). 2.^o Si può riempire direttamente il sifone tenendolo rovesciato ed inclinato in modo che le due estremità dei bracci sieno allo stesso livello; si chiude allora l'apertura *D* col dito, si rovescia il sifone, si pone il braccio più corto nel vaso e si stappa l'orifizio *D*. La figura 143, rappresenta un sifone che agisce da sè stesso, quando si versa dell'acqua nel vaso che lo contiene. Supponiamo che l'acqua nel vaso non s'inalzi completamente fino alla sommità del sifone, ma vi sia molto prossima; allora non si produce alcun fenomeno; ma se aggiungonsi poche gocce di più, il liquido che s'è inalzato nel ramo più corto, oltrepassa la sommità, il sifone si empie ed il vaso si vuota completamente. Questo apparecchio che si vuota volendolo riempire, ha ricevuto il nome di *Vaso di Tantalo*.

Lampade a livello costante. Il principio su cui è fondata la costruzione di queste lampade, è quello stesso pel quale l'acqua rimane sempre allo stesso livello nei beveratoj degli uccelli e nei calamai sifoidi (Tav. V, Fig. 144). Il liquido di questi apparecchi vien tolto a poco a poco dall'orifizio, e quando il livello si abbassa un poco al di sotto del gomito *c*, una bolla d'aria vi penetra, ed il livello risale alquanto nel beccuccio *a*; poi quando si abbassa di nuovo un'altra bolla lo risollewa, fintantochè tutto il liquido non è disceso al livello *c*. Nelle lampade a livello costante, l'olio è contenuto in un serbatojo *v* (Tav. V, Fig. 145), terminato inferiormente da un tubo aperto da un foro *a*. Il canale *b* stabilisce la comunicazione fra il beccuccio della lampada ed il serbatojo; ma la sommità del beccuccio è tre o quattro millimetri al di sopra del foro. Questo canale si riempie d'olio, fino ad oltrepassare di poco l'altezza del foro *a*. L'olio sale nel lucignolo in virtù

dell'azione capillare, ed a misura che per la combustione il livello si abbassa un poco nel beccuccio, e conseguentemente al di sotto del foro: allora l'aria può entrare nel serbatojo e far cadere l'olio, il quale solleva il livello nel beccuccio, ed intorno al tubo; poi, consumata questa nuova provvisione, lo stesso fenomeno si riproduce. Il tubo rimanendo nuovamente allo scoperto, un'altra bolla d'aria ascende nel serbatojo, e fa discendere un egual volume d'olio, che solleva il livello. In questa guisa tutto l'olio della lampada giunge goccia a goccia al lucignolo con delle intermittenze tanto prossime che lo splendore della fiamma rimane costante. Per riempire il serbatojo, si leva e si rovescia, ma poichè l'apertura del tubo dev'essere piuttosto ampia affinchè la colonna si divida, senza di che le bolle d'aria non potrebbero salire, vi si adatta una valvola munita di un'asta; si chiude la valvola per fare il rovesciamento e riporre al posto il serbatojo; allora si apre mediante l'eccesso della lunghezza dell'asta, e rimane costantemente aperta.

Per mezzo della pressione atmosferica fatta convenientemente agire sugli orifizj di un recipiente convenientemente disposto, si può ottenere da questo un efflusso di liquido animato da una velocità costante; ovvero un efflusso intermittente.

Il primo effetto si ottiene per mezzo dell'apparecchio di *Mariotte*. Consiste in un recipiente *ABCD* (*Tav. V, Fig. 146*) fornito di un tubo *t* che può scorrere nel tappo della tabulatura *b*, e di cui l'estremità inferiore è successivamente abbassata al punto *p*, al di sotto del livello *no* dell'apertura laterale, o sollevata al punto *h* al di sopra dello stesso livello. L'apertura laterale è assai stretta per impedire che la colonna liquida possa dividersi. Il tubo essendo in *p* e completamente pieno di acqua, come anche il vaso, è chiaro che il liquido deve scolare dall'orifizio laterale *v*, giacchè la pressione interna si compone della pressione atmosferica che esercitasi alla sommità del tubo, e della pressione dovuta al peso della colonna liquida *pn*, mentre la pressione esterna non è che la pressione atmosferica. Il liquido sgorga difatto, e il livello cade rapidamente nell'interno del tubo dal punto *s* al punto *n*; quivi si arresta, e lo scolo cessa. Il vaso resta pieno, l'orifizio *v*

resta aperto, e nullameno non esce una goccia di liquido. Su tutta l'estensione dello strato orizzontale $n'nv$ la pressione essendo la stessa che al punto n , cioè a dire una pressione atmosferica, il liquido non può più scolare. Sopra un altro strato $c'c$ la pressione è minore della pressione atmosferica, dell'altezza della colonna $c'n'$. Si faccia risalire il tubo fino al punto h : tosto lo scolo ricomincia e continua con una *velocità costante*, durante tutto il tempo che il livello del liquido discende dalla sommità del vaso fino in h , giacchè la pressione sullo strato $n'nv$ si compone allora della pressione atmosferica che esercitasi in h , e della pressione che è dovuta al peso della colonna hn ; pressioni che restano ambedue costanti, fintantochè il livello non è giunto in h . Da quel momento la velocità di scolo diminuisce sempre più, fino a divenire intieramente nulla, quando il livello è giunto al punto n . Uno scolo intermittente si ottiene per mezzo della così detta *fontana intermittente* (Tav. V, Fig. 147). L'acqua del serbatoio superiore scola dagli orifizi j , cade in un primo bacino concavo, il cui punto più basso è forato da un orifizio strettissimo, per mezzo del quale essa ricade in un secondo bacino piano, che forma il piede della fontana. Quando l'acqua si è accumulata in fondo al primo bacino essa bagna l'estremità del tubo tt' , per mezzo del quale l'aria giunge alla sommità del serbatoio superiore; allora lo scolo cessa fintantochè l'estremità inferiore di questo tubo non riman libera. Appena ciò accade, vedesi una bolla d'aria che ascende nel tubo per ristabilire una sufficiente pressione alla superficie superiore del liquido; e lo scolo ricomincia: il liquido scolato bagna nuovamente il tubo, intercetta la comunicazione dell'aria, e bentosto la pressione diviene insufficiente, e lo scolo cessa. Può dunque variarsi la durata delle intermittenze, variando il rapporto che esiste fra i tubi di scolo della fontana, e l'orifizio di comunicazione del primo e del secondo bacino.

Delle macchine più importanti, il giuoco delle quali è fondato sulle proprietà dell'aria.

Macchine per la dilatazione dell'aria. Sia A (Tav. V, Fig. 148) un pallone pieno d'aria, sormontato da un cilindro nel quale si muove uno stantuffo. La parte inferiore del corpo di pompa

e lo stantuffo sono traversati da due aperture guarnite di due valvole m ed n , che chiudonsi per una pressione dall'alto al basso. Quando si alza lo stantuffo, l'aria che era al di sotto si dilata, e perde una porzione della sua forza elastica, mentre l'aria rinchiusa nel recipiente A apre la valvola m e s'introduce in parte nel corpo di pompa. Quando si abbassa lo stantuffo, il gas del corpo di pompa essendo compresso, chiude prima la valvola m , ed apre quindi la valvola n , per la quale svolgesi. Perciò ad ogni ascensione dello stantuffo, una porzione dell'aria del serbatoio passa nel corpo di pompa, e ad ogni abbassamento quest'aria è versata nell'atmosfera: conseguentemente continuando il giuoco dello stantuffo, si dilaterà sempre più l'aria del recipiente. Per calcolare l'effetto di questa macchina bisogna conoscere il rapporto delle capacità del recipiente e del corpo di pompa. Supponiamo per esempio che queste capacità sieno eguali: alla prima ascensione dello stantuffo l'aria del recipiente si estenderà in uno spazio doppio; quindi resterà nel pallone uno stesso volume d'aria, del quale la densità, la forza elastica, e la massa saranno ridotte a metà; dopo la seconda ascensione la massa restante sarà $\frac{1}{2}$ di ciò che era prima; dopo la terza $\frac{1}{4}$, e così di seguito. Se il corpo di pompa avesse una capacità eguale alla sola metà di quella del recipiente, ad ogni innalzamento dello stantuffo, l'aria del recipiente si estenderebbe in uno spazio metà più grande; quindi ad ogni movimento dello stantuffo l'aria del pallone diminuirebbe di $\frac{1}{2}$ di massa, densità e forza elastica. È facile osservare cogli stessi ragionamenti che se il volume del corpo di pompa fosse $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$ ec. di quello del recipiente, ad ogni colpo di stantuffo l'aria del recipiente diminuirebbe di $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$ ec. Segue da ciò, che con un numero di colpi di stantuffo, tanto più grande quanto più piccola è la capacità dello stantuffo rispetto a quella del recipiente, si potrà sempre giungere a lasciare nel medesimo una quantità d'aria tanto piccola quanto si vorrà, ma che per quanto si prolunghi l'azione dello stantuffo non si potrà mai giungere a fare un vuoto perfetto. Chiamando V il volume del pallone, P il volume del corpo di pompa percorso dallo stantuffo, ed infine p la pressione atmosferica; la forza elastica dell'aria rinchiusa nel pallone, sarà dopo il primo colpo

di stantuffo eguale a $p \cdot \frac{V}{p + V}$ dopo il 2° a $p \cdot \frac{V}{V + p}$.
 $\frac{V}{V + p} = p \left(\frac{V}{V + p} \right)^n$; dopo un numero n di colpi sarà

$$p \left(\frac{V}{V + p} \right)^n$$

Macchina pneumatica. La macchina pneumatica inventata nel 1650 da Otto de Guericke, borgomastro di Magdebourg, non è molto diversa dall'apparecchio che abbiamo descritto; ma in essa il corpo di pompa ed il serbatoio sono disposti in un modo più comodo. Nelle macchine ordinarie (Tav. V, Fig. 149 e 150) vi sono due corpi di pompa; gli stantuffi sono forniti di aste dentate che ingranano in una ruota dentata posta in moto da una leva MN , per mezzo della quale salgono e scendono alternativamente. In questo modo si distrugge l'effetto della pressione atmosferica che si oppone al sollevamento dello stantuffo, agendo questa pressione ad abbassare l'altro stantuffo che scende. Le valvole di aspirazione sono chiuse da dei coni guarniti di cuoio che entrano in cavità della stessa forma. Queste valvole sono fissate a delle aste che traversano gli stantuffi: questi inalzandosi sollevano le valvole fino ad una piccola altezza; e nel riabbassarsi le ripongono in sito. Le valvole degli stantuffi sono pure coniche e ritenute da una molla a spirale. I due corpi di pompa comunicano per mezzo di uno stesso canale con un orifizio K che traversa il centro del piatto di vetro spulito, su cui si posano le campane che fanno l'ufficio di recipienti. L'estremità del canale che termina col l'orifizio K è fatta a vite, onde adattarvi i palloni a robinetto da cui si vuole estrar l'aria. Il canale interno comunica con una campana di vetro PQ , contenente un barometro troncato che fa da manometro. Infine due robinetti Z ed S sono destinati il primo a lasciar rientrare l'aria nell'apparecchio e ad intercettare o a stabilire la comunicazione fra il serbatoio ed il corpo di pompa, ed il secondo a far comunicare la campana PQ col recipiente. La chiave del robinetto Z è forata da un canale x che la traversa perpendicolarmente (Tav. V, Fig. 151), e da un canale yx , che va a sboccare nell'aria in cima alla chiave; l'apertura x di questo canale è chiusa

con un tappo. Quando la macchina deve tenere il vuoto si gira l'apertura laterale *y* verso il corpo di pompa, e per render l'aria si gira verso la campana e si toglie il tappo. Le valvole d'aspirazione sono coniche, onde chiudano più esattamente. Sono sollevate dagli stantuffi, onde la comunicazione del recipiente col corpo di pompa possa stabilirsi, qualunque sia la forza elastica dell'aria contenuta nel primo. Nella costruzione delle macchine pneumatiche, bisogna soddisfare più che si può ad una condizione importante di cui non abbiamo anche parlato: lo stantuffo, al limite inferiore del suo tragitto deve giungere esattamente alla parte inferiore del corpo di pompa, in modo da non lasciare spazio fra sè e il fondo di esso. Infatti se vi restasse un certo volume d'aria, la medesima avrebbe la stessa densità dell'aria esterna: conseguentemente quando si sollevasse lo stantuffo essa si dilaterrebbe, e non passerebbe nel corpo di pompa che tant'aria della campana quanto lo permettesse la differenza tra la forza elastica dell'aria rimasta nel corpo di pompa, e dilatata fino alla sommità del tragitto dello stantuffo, e quella dell'aria rinchiusa nella campana. E poichè tal condizione mai si raggiunge completamente, così nelle ordinarie macchine pneumatiche, quantunque buone, non si giunge a fare il vuoto che a 2 o 3 millimetri; ma si deve a Babinet una modificazione molto ingegnosa per mezzo della quale il vuoto può farsi a meno di un millimetro. Al punto della biforcazione del canale che parte dal centro del piatto, per comunicare coi due corpi di pompa trovasi un robinetto, nella cui massa sono praticati varj condotti, di cui si approfitta successivamente, girandolo in due posizioni differenti. La *Tav. V, Fig. 152* rappresenta una sezione orizzontale del robinetto, situato in posizione tale da stabilire la comunicazione fra l'orifizio *K* del piatto e le valvole *o* ed *s*, per mezzo della sua apertura centrale e delle due aperture laterali. La macchina allora agisce nel modo ordinario. Nella *Fig. 153* il robinetto si è fatto rotare di un quarto di giro; il canale trasversale *db*, che nella figura precedente era orizzontale, ora è verticale, ed i suoi orifizi si trovano chiusi dalle pareti che abbracciano il robinetto. Ma un secondo canale, che prima non agiva e che

prese il posto del primo, mette ora il solo corpo di tromba destro in comunicazione col recipiente mediante il canale *ebi*; inoltre il corpo di tromba destro è posto in comunicazione col sinistro per mezzo di un condotto *aeo* (Tav. V, Fig. 153) o *aico* (Tav. V, Fig. 154). Questo condotto parte da un'apertura centrale *a* situata alla base del corpo di tromba destro, attraversa il robinetto, e giunge alla valvola *o* dell'altro corpo di tromba, come mostrano le Fig. 153 e 154; ma questo condotto si trova interrotto dal medesimo robinetto, quando quest'ultimo è nella sua prima posizione, come mostra la Figura 153. Ciò posto, quando lo stantuffo destro discende, respinge l'aria che va comprimendo nel corpo di tromba sinistro a traverso dell'orifizio *a* del canale *ei*, e della valvola *o*, la quale trovasi allora aperta. Successivamente, allorchè il medesimo stantuffo s'innalza, lo stantuffo sinistro si abbassa; ma l'aria che trovasi al di sotto di esso non ritorna nel corpo di tromba destro, essendo allora chiusa la valvola *o*. Lo stantuffo destro continua per tal maniera ad aspirare l'aria del recipiente ed a respingerla nel corpo di tromba sinistro; l'aria vi si condensa, e giunge ad acquistare la tensione che basta per sollevare la valvola dello stantuffo, cioèchè era impossibile prima che si adattasse l'uso del robinetto a doppio canale. Ogni volta che si giunge così a fare aprire la valvola dello stantuffo, una porzione d'aria viene espulsa.

Macchine per comprimer l'aria. Sia *A* (Tav. V, Fig. 155) un pallone sormontato da un cilindro nel quale si muove uno stantuffo; supponiamo che la parte inferiore del cilindro come anche lo stantuffo sieno traversati ciascuno da un'apertura guarnita di una valvola che si apra per una pressione d'alto al basso; quando s'innalzerà lo stantuffo, la valvola *m* si chiuderà per la forza elastica dell'aria contenuta nel pallone, la valvola *n* si aprirà per la pressione dell'atmosfera, ed il cilindro si riempirà d'aria alla pressione esterna. Quando si farà discendere lo stantuffo, l'aria del cilindro si comprimerà, la valvola d'aspirazione *n* si chiuderà, mentre la valvola *m* si aprirà, e l'aria del corpo di pompa penetrerà nel pallone. È evidente che ad ogni colpo di stantuffo s'introdurrà nel pallone lo stesso volume d'aria, e in conseguenza

se la resistenza del pallone è sufficiente si potrà aumentare indefinitamente la densità e la forza elastica dell'aria che contiene. Se la capacità del corpo di pompa fosse eguale a quella del serbatojo, le quantità d'aria aumentata dopo 1, 2, 3 ec. colpi di stantuffo sarebbero 2, 3, 4 ec. Perciò dopo 30 colpi di stantuffo la densità sarà trentuna volta più grande che in principio. Se la capacità del corpo di pompa fosse solamente $\frac{1}{2}$ di quella del recipiente, la densità sarebbe successivamente $1, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}, \frac{7}{2}$. In generale sarà sempre facile di calcolare la densità dell'aria accumulata, dopo un numero dato di colpi di stantuffo, quando si conoscerà il rapporto delle capacità del corpo di pompa e del recipiente. Designando con V il volume del pallone, con P quello del corpo di pompa, e con p la pressione atmosferica, la tensione dell'aria del serbatojo sarà dopo il primo colpo di stantuffo $p. \frac{P + V}{V}$; dopo n colpi sarà $p. \frac{n P + V}{V}$.

La macchina che adopra si spesso in fisica per accumulare l'aria in un recipiente dicesi *Macchina di compressione*. È assolutamente simile alla macchina pneumatica; solamente le valvole sono tutte ritenute da molle, e muovonsi in senso contrario. La sua provetta è un tubo stretto, chiuso alla sua sommità, pieno di aria, ed immerso colla sua estremità inferiore in un pozzetto di mercurio. Al principio dell'esperienza l'aria del tubo è sotto la pressione atmosferica, ed il mercurio è allo stesso livello all'esterno ed all'interno; a misura che la pressione aumenta, il mercurio sale nel tubo, il volume dell'aria si riduce successivamente alla metà, al terzo o al quarto di ciò che era; e secondo la legge di Mariotte, si giudica che è sotto la pressione di due, tre o quattro atmosfere.

Il soffiutto comune, semplice o doppio, agisce pel principio della macchina di compressione. Difatti quando si comprime l'aria del soffiutto (*Fig. 156*), la valvola s' si apre; mentre la valvola s si chiude, e l'aria esce dal tubo t ; quando invece si dilata, chiudesi la valvola s' , e si apre la valvola s che dà adito a nuova aria nell'interno del soffiutto. È sugli

stessi principj che si fonda il fucile a vento. La cassa di questo fucile contiene un recipiente con valvole opportune per potervi comprimere l'aria sotto la pressione di 8 a 10 atmosfere. Si unisce a questa cassa, per mezzo di vite, la canna che riceve il proiettile e ne dirige il movimento. Per mezzo dello scatto di una molla si apre per un istante la valvola di comunicazione fra la cassa e la canna: l'aria esce con violenza, la palla è lanciata, e la valvola si richiude.

Sul giuoco dell'aria compressa è fondata la costruzione di alcuni apparecchi, da cui si fa variamente zampillare l'acqua. Tali sono, per esempio, la *fontana di Erone* e la *fontana di compressione*. La fontana di Erone si compone di tre recipienti *A*, *B*, *C*, e di tre tubi *x*, *y*, *z* (*Tav. V, Fig. 157*). Il primo tubo *x* discende dal fondo del vaso superiore *A*, nel fondo del vaso inferiore *C*; il secondo *y* s'innalza dalla sommità del vaso medio *B*; infine il terzo *z* s'innalza dal fondo del vaso inferiore alla sommità del vaso medio, al di sopra del vaso superiore; è questo il tubo di sgorgo. Si comincia dall'empire di acqua il vaso medio, poi si chiude con un turacciolo l'orifizio che ha servito a riempirlo; allora si versa dell'acqua nel vaso superiore; di questa ne discende alquanto in fondo al vaso inferiore, finchè l'estremità del tubo *x* ne sia bagnata, ma l'aria compressa in questo vaso e nel vaso medio, non avendo alcuna uscita, impedisce colla sua forza elastica che l'acqua del vaso superiore continui a discendere nel vaso inferiore. Quando si apre il robinetto del tubo di sgorgo *z*, questo eccesso d'elasticità dell'aria, agisce sull'acqua del vaso *B*, e la fa zampillare ad una certa altezza. Questo sgorgo si mantiene per mezzo dell'acqua del vaso superiore, che continua allora a discendere nel vaso inferiore, per comprimer l'aria facendola passare nel vaso medio. Una fontana di Erone assai più semplice consiste in un tubo di vetro due volte ricurvo (*Tav. V, Fig. 158*), fornito in *a* di una specie d'imbuto, e terminato in *d* da un'apertura capillare. È fornito in *e* ed in *b* di due palle capaci di contenere una certa quantità di liquido. Si empie prima la palla *b* ed una porzione del tubo *bd* di acqua, quindi se ne empie la palla *e*. Poscia si seguita ad aggiungere dell'acqua nel tubo *ae*, e si vede la colonna liquida sollevarsi

in questo tubo, ed uscire invece con forza uno zampillo di liquido dall'apertura d , in grazia della pressione che soffre l'aria compressa fra e e b .

La *Fontana di Compressione* (Fig. 159) consiste in un vaso di rame V di pareti solide, nell'interno del quale penetra un tubo t , guarnito esternamente di un robinetto r ; questi due pezzi sono saldati insieme, e il loro insieme può invitarsi sul collo del vaso V ; j è il tubo di sgorgo che s'invita al di sopra del robinetto r . Nel vaso l'acqua giunge fino al livello nn' . Per mezzo della pompa premente, che adattasi in luogo del tubo j sopra al robinetto, si comprime l'aria nello spazio nan' . Allora la fontana è carica, si chiude il robinetto; si toglie la pompa, s'invita il tubo j , e aprendo il robinetto il liquido zampilla ad una grande altezza, cioè a 10 od anche a 50 metri se l'aria è compressa a 2 o a 5 atmosfere.

Pompe o Trombe. Distinguonsi ordinariamente tre specie di pompe: le pompe aspiranti, le pompe prementi, e le pompe aspiranti e prementi, altrimenti dette pompe composte.

La *Pompa aspirante* si compone di un canale AB (Tav. V, Fig. 160) chiamato corpo di pompa, la cui estremità inferiore è immersa nell'acqua, e nella quale si fa salire e scendere a volontà, per mezzo di un'asta T , uno stantuffo P che riempie esattamente l'interno del corpo. Questo stantuffo è munito di una valvola F che apresi di basso in alto; e nell'interno del corpo di pompa, ad una distanza minore di 32 piedi dal livello dell'acqua trovasi una seconda valvola F' che apresi nello stesso senso. Quando si discende lo stantuffo P , la valvola F' riman chiusa pel proprio peso; ma la valvola F vien sollevata dalla forza elastica dell'aria compressa fra lo stantuffo e la valvola F' , e quest'aria fugge. Quando si solleva lo stantuffo P , formasi un vuoto al di sotto di esso; la valvola F si chiude da sè, sia per l'effetto del proprio peso che della pressione atmosferica; la valvola F' invece è sollevata dalla forza elastica dell'aria compressa fra essa e la superficie dell'acqua. Quest'aria adunque si spande in parte nello spazio vuoto che è al di sotto dello stantuffo P , e la sua forza elastica necessariamente diminuendo, la pressione dell'atmosfera fa salire l'acqua ad una certa altezza nella parte del corpo

di pompa situata al di sotto della valvola F . Se si abbassa nuovamente lo stantuffo P , la valvola F' si chiuderà, la valvola F si aprirà, e l'aria dello spazio FF' sortirà. Si solleva nuovamente lo stantuffo P , la valvola F si chiuderà, la valvola F' si aprirà e lascerà passare al di sotto di sé una nuova quantità di aria sottoposta, lo che farà pure salire nel corpo di pompa un'altra quantità di acqua, e così di seguito. S'intende facilmente che questo giuoco continuo dello stantuffo farà ben tosto salir l'acqua al di sopra della valvola F' . Lo stantuffo essendo allora portato a contatto di questa valvola, il liquido salirà al di sopra della valvola F , ed una certa quantità di esso potrà essere trasportata dallo stantuffo a quell'altezza che si vorrà, e scolare da un canale laterale o . Onde una pompa aspirante sia propria a adempiere il suo oggetto è necessario che la valvola F' del corpo di pompa non sia posta ad un'altezza maggiore di 32 piedi al di sopra del livello dell'acqua, poichè al di là di questo limite si potrebbe fare il vuoto, quanto si volesse, nello spazio M , senza che mai l'acqua salisse fino ad F' , e ciò perchè il peso dell'atmosfera non può sollevare una colonna d'acqua ad un'altezza maggiore di 32 piedi.

La *Pompa premente* si compone pure di un corpo di pompa AB (Tav. V, Fig. 161), nel quale sale e scende a sfregamento lo stantuffo P . Ma questo stantuffo è intieramente pieno, ed il canale dal quale scola l'acqua ha origine nella parte inferiore del corpo, di pompa ed immergesi in parte nel serbatoio mn . All'ingresso di questo canale trovasi una valvola F , che apresi dall'interno all'esterno del corpo di pompa, e questo è fornito immediatamente al di sotto del canale laterale, di una seconda valvola F' che apresi di basso in alto. Quando si abbassa lo stantuffo P la valvola F' riman chiusa, mentre apresi la valvola F per lasciare uscire l'aria compressa; quando s'innalza chiudesi la valvola F ed apresi la valvola F' ; e poichè l'acqua tende a livellarsi, penetra al di sopra di essa, dopo di che la valvola richiudesi. Si abbassa nuovamente lo stantuffo P ; la valvola F si apre e lascia passare l'acqua che si era introdotta nel corpo di pompa, la quale sollevasi nel canale laterale fino ad una certa altezza. Continuasi così

a fare agire lo stantuffo *P*, di modo che ogni volta che si solleva, una certa quantità d'acqua giunge al di sopra della valvola *F*, ed ogni volta che scende, respinge quest'acqua nel canale laterale, in guisa che trovasi bentosto all'altezza dell'orifizio *o*, e scola da questo. La pressione atmosferica non ha alcun giuoco in questa pompa, di modo che essa produrrebbe gli stessi effetti nel vuoto, mentre che l'acqua non sale nella pompa precedente che pel peso dell'atmosfera, e in conseguenza non produrrebbe alcun effetto nel vuoto.

La *Pompa composta*, così detta perchè riunisce gli effetti delle due pompe precedenti, non differisce dalla pompa premente che nell'avere la valvola *F'*, e quindi il canale laterale al di sopra del livello dell'acqua *mn* (*Tav. V. Fig. 162*). Quando si abbassa lo stantuffo *P*, la valvola *F'* si chiude, e tutta l'aria compresa nello spazio *M* sorte dalla valvola *F*. Quando s'innalza lo stantuffo *P*, la valvola *F* si chiude, la valvola *F'* si apre, e l'aria compresa fra di essa ed il livello dell'acqua si spande in parte nel vuoto formatosi al di sotto dello stantuffo. Vedesi adunque che facendo agire sufficientemente lo stantuffo *P*, si giungerà bentosto ad inalzare l'acqua al di sopra della valvola *F*: di là si spingerà nel canale laterale al di sopra della valvola *F'*, e si potrà così far salir l'acqua in questo canale, in modo che scoli dall'orifizio laterale. Coll'aggiunta di un serbatojo d'aria al canale laterale, si rende il getto continuo. L'acqua, pel giuoco dello stantuffo *P*, s'inalza nel serbatojo *AC* (*Tav. V. Fig. 163*), e comincia a condensarvi l'aria che vi si trova rinchiusa; dopo pochi colpi di stantuffo, l'acqua esce dal canale *S*; e poichè l'aria preme continuamente sulla superficie *AC* del serbatojo, lo scolo del liquido sarà continuo, mentre che nella pompa precedente lo scolo non è prodotto che dall'abbassamento dello stantuffo. La pratica insegna che bisogna dare al serbatojo d'aria una capacità circa 23 volte maggiore di quella del corpo di pompa. La pompa premente così modificata serve per l'innaffiamento dei giardini. La pompa da incendio si compone di due corpi di pompa (*Tav. V. Fig. 164*) fra i quali trovasi un serbatojo d'aria. Questa pompa è posta in un recipiente pieno di acqua; l'acqua è aspirata dalla pompa e respinta nel serbatojo, d'on-

de è spinta per mezzo di un canale di cuojo nella direzione voluta. Questo serbatoio agisce come fontana di compressione, giacchè a misura che l'acqua vi si accumula, l'aria che v'è contenuta aumenta continuamente di forza elastica.

Pressa Idraulica. Abbiamo già esposto il principio su cui riposa questa macchina; possiamo adesso entrare nella descrizione dei suoi dettagli. Il corpo della pressa *A* (*Tav. V, Fig. 165*) è un cilindro di bronzo o di ghisa, aperto nella sua parte superiore in modo da ricevere lo stantuffo *P*. — *C* è un piano di ghisa fisso sullo stantuffo, che sale e discende con lui, e che serve a premere gli oggetti contro il piano fisso *TT* sostenuto da delle colonne di ferro *DD*. — *F* è una pompa d'iniezione aspirante e premente che agisce per mezzo della leva *Gd*. *R* è un serbatoio d'acqua nel quale questa pompa si alimenta; *KK* è il tubo di comunicazione fra le due pompe; infine *L* è una valvola a pesi, per mezzo della quale si può misurare la pressione dell'acqua. Manovrando la leva *Gd* si solleva lo stantuffo della pompa d'iniezione, ed il corpo di pompa si riempie d'acqua. Quando poscia si abbassa lo stantuffo, quest'acqua è respinta nel tubo *KK*; essa introduceasi nel cilindro *A*, solleva lo stantuffo *P*, e lo costringe a salire col piatto *C*, che preme a sua volta gli oggetti che trovansi situati fra la sua superficie ed il piano *TT*. Resulta dal principio sul quale questo apparecchio è fondato, che se la superficie dello stantuffo della pompa d'iniezione è, per es., la centesima parte della superficie dello stantuffo *P*, uno sforzo di una libbra esercitato sul primo, produrrà sul secondo una pressione di basso in alto equivalente a 100 libbre. Ma per mezzo della leva *Gd*, un sol uomo, può esercitare sullo stantuffo della pompa d'iniezione uno sforzo di 1000 libbre; dunque in questo caso la pressione che eserciterà lo stantuffo *P*, sarà eguale a 100,000 libbre.

Applicazione della pressione atmosferica come forza motrice. Strade ferrate atmosferiche. — Non sono molti anni che la pressione atmosferica si è applicata come motore dei convogli sopra le strade ferrate. La prima idea di questa applicazione deveasi a Clegg ed a Samuda, irlandesi. Ci è noto che la pressione ordinaria dell'atmosfera corrisponde a chilog. 1,033 per ogni centimetro quadrato della superficie sulla quale si esercita,

per cui la pressione che si eserciterebbe sulla superficie di un circolo avente per diametro 50 centimetri, sarebbe eguale al peso di 2027 chilogrammi. Non è dunque strano che siasi proposto una forza così considerevole in sostituzione della macchina locomotiva a vapore, il mantenimento della quale è assai dispendioso. Ecco pertanto il processo pneumatico per mezzo del quale si è giunti a mettere in movimento un convojo sopra una strada ferrata, per mezzo della pressione atmosferica. Fra le guide di una strada ferrata immaginiamo disteso longitudinalmente un tubo o canale di una lunghezza più o meno grande, in cui possa muoversi dolcemente, scorrendo sulla superficie interna, uno stantuffo. Se la pressione atmosferica agirà egualmente da un lato e dall'altro di questo stantuffo, esso non potrà concepire alcun movimento. Ma se da una parte si toglierà l'aria, la pressione atmosferica dalla parte opposta lo sospingerà e lo farà muovere entro il tubo. A quest'effetto all'estremità del tubo opposta a quella ov'è incastrato lo stantuffo, è applicata una grandiosa macchina pneumatica che serve all'estrazione dell'aria. La pressione che agirebbe sullo stantuffo sul principio dell'azione della macchina pneumatica sarebbe debole, e non potrebbe produrre che una piccola velocità, ma può questa rendersi notabilissima tenendo fermo lo stantuffo per tutto il tempo che la macchina pneumatica continua a fare il vuoto. Difatti, supposto fermo lo stantuffo, la differenza delle pressioni che agiscono sulle superfici opposte dello stantuffo va sempre aumentando, e sarebbe la massima quando il vuoto nel tubo fosse perfetto; ma ciò non è mai possibile ottenere. I manometri uniti ai tubi di simili strade ferrate segnano ordinariamente 26 a 24 centimetri, cioè a dire un terzo soltanto dell'intera pressione dell'atmosfera. Quindi la pressione che si esercita sulla superficie esterna dello stantuffo è di $\frac{1}{3}$ circa dell'intera pressione atmosferica, e quindi di circa chilogrammi 0,69 per ogni centimetro quadrato, e per una superficie di 1000 centimetri quadrati, che è presso a poco quella che hanno ordinariamente gli stantuffi, è di circa 690 chilogrammi, forza più che sufficiente a muovere sopra rotaje orizzontali un grande convoglio. La maggior difficoltà però s'incontra nel congiungere il convoglio collo stan-

tuffo. Se si trattasse di un tubo di poca lunghezza, cioè a dire di 100 a 200 metri, s'intende che allo stantuffo potrebbe attaccarsi una fune di tal lunghezza, che trascinasse il convoglio; ma per l'applicazione di questo principio alle strade ferrate, bisogna potere agire su tutte le lunghezze. Il Clegg ed il Samu'la hanno risoluto il problema nel modo seguente. Essi hanno praticato una fenditura da un capo all'altro del tubo, e per la medesima hanno fatto passare un'asta che attacca la parte posteriore dello stantuffo motore ad un vagone, e così gli comunica il suo movimento; ed affinché il tubo rimanga chiuso per farvi il vuoto, la fenditura è chiusa da una valvola longitudinale di cuoio, uno dei cui margini è fissato al tubo, da un lato dell'apertura longitudinale. Questa valvola è armata di lamine di ferro onde possa resistere alla pressione atmosferica; e non di meno conserva una sufficiente flessibilità, essendo esse piccole e numerose. Lo stantuffo che ha più di sei metri di lunghezza, porta seco una specie di vomere, ovvero certe ruotelle situate poco innanzi all'asta di congiunzione, le quali di mano in mano sollevano la valvola per lasciar passare l'asta raccomandata allo stantuffo, la quale è ripiegata in guisa da passare intorno ai margini della valvola senza aprirla di soverchio. La *Fig. 166 della Tav. V* rappresenta questa disposizione: *H* è la valvola, *D* l'asta di comunicazione, *G* una delle ruote sollevatrici della valvola. Così nel punto in cui trovasi la testa dello stantuffo le valvole chiudono ermeticamente il tubo, poichè non sono state per anco sollevate; e perciò esiste vuoto nella parte anteriore, e la valvola sollevata introduce l'aria che lo spinge dalla parte posteriore. Quando l'asta è passata, la valvola pel proprio peso torna al suo posto, ed una ruota pesante che vi passa sopra, e che è unita al vagone che immediatamente segue il vagone di rimorchio, la fa di nuovo combaciare coi labbri della fenditura del tubo. Inoltre le valvole sono abbondantemente spalmate sui bordi da un intonaco di cera ed olio, e siccome lo stantuffo col solo suo attrito in una corsa rapidissima può riscaldare il tubo, questo riscaldamento basta per rammollire l'intonaco, il quale così chiude ermeticamente le connessioni delle valvole. Per tal modo, quando un convo-

glio ha percorso il tronco di strada corrispondente al tratto di tubo cui è destinata una macchina pneumatica, questa macchina può ricominciare la sua azione, e preparare il vuoto per la corsa di un convoglio successivo. Il vuoto, entro un tubo della lunghezza di un miglio inglese (1609,34 metri) si forma nello spazio di dieci minuti circa. La corsa di un miglio inglese può compiersi dal convoglio in uno o due minuti. Fino ad oggi le strade ferrate a pressione atmosferica non sono state applicate che a dei tratti non molto lunghi. La prima strada di questo genere fu costruita dagl'inventori Clegg e Samuda, in Irlanda fra Kingstown e Dalkey. Questa strada non ha che una lunghezza di 2,800 metri. In Francia ne esiste una presso la città di S.^t Germain, di una lunghezza poco diversa da quella citata, la quale ha un dolce declive, e serve al trasporto dei convogli della strada ferrata di Parigi fino sulla cima del colle su cui è situata la città di S.^t Germain. Le macchine pneumatiche che servono a fare il vuoto nel tubo del cammino atmosferico, sono situate alla sommità della strada, ed agiscono per mezzo di macchine a vapore. Sembra che l'applicazione in grande di questo sistema di strade ferrate presenti delle notevoli difficoltà, fra le quali principalissima quella del numero considerevole di macchine pneumatiche che dovrebbero situarsi lungo la strada. Recentemente l'Arnollet ha progettate varie importanti modificazioni, in grazia delle quali il sistema diverrebbe più facilmente applicabile in grande; ma i limiti del nostro Corso, non ci permettono di entrare nella loro disamina.

Applicazione dell'aria compressa come forza motrice. L'aria si presenta come motore eziandio per la sua elasticità, al pari di qualunque altro gas. Egli è per questo che si è proposta l'aria compressa per esser sostituita al vapore nelle locomotive delle strade ferrate. Noi non possiamo qui entrare nei dettagli di quest'applicazione; ma ne daremo soltanto dei cenni. Nella ricerca di un agente da sostituirsi al vapore si ha principalmente in mira di ritrovare un agente universale del minimo costo, del quale chiunque possa disporre, e che possa esser conservato fino al momento in cui ne occorre l'uso. Quest'ultima condizione, la quale manca assolutamente

al vapore, basterebbe di per sè sola a preferire l'applicazione dell'aria compressa. Si citano delle esperienze nelle quali l'aria venne compressa fino a 114 ed anche 120 atmosfere. Dell'aria considerevolmente compressa è una molla potente che conserva per un tempo indeterminato tutta la sua elasticità. Un macchinista francese, un certo Allard, fu il primo che mettesse in applicazione questo principio. Egli costruì nel 1836 una macchina fissa messa in movimento col mezzo dell'aria continuamente condensata da una tromba premente. Verso la stessa epoca un orologiaio francese, per nome Roussel, costruì un piccolo carro, il quale, essendo fornito di un recipiente che in pochi minuti era ripieno di aria condensatavi da una piccola tromba, mettevasi in movimento dall'aria che sprigionavasi mano a mano dal recipiente. In tutti gli apparecchi in cui l'aria compressa si fa agire come motore, il meccanismo è simile a quello che descriveremo nelle macchine a vapore: l'aria compressa agisce colla sua elasticità sopra uno stantuffo mobile entro un corpo di pompa, ed il suo movimento alternativo in su e in giù vien cambiato in un movimento rotatorio. L'Andraud ha pubblicato non sono molti anni un'opera per dimostrare i grandi vantaggi che si ritrarrebbero dall'applicazione in grande dell'aria compressa come forza motrice. Egli fa considerare, che se l'aria non si offre in natura a quello stato di tensione che occorre, ha però il grandissimo vantaggio di poter conservare indefinitamente la forza comunicatale per mezzo della compressione, e che inoltre questa forza le si può comunicare senza grande dispendio, presentando la natura ovunque delle forze, le quali non costano che la cura di raccoglierle. Queste forze risiedono nel corso delle acque e nello spirare dei venti; e la corrente di un solo fiume ne può somministrare più che non occorra a muovere tutte le macchine del mondo. Propone adunque l'Andraud di stabilire ovunque occorran delle ruote idrauliche, di adattare a ciascuna di queste ruote una buona tromba premente atta a comprimere l'aria in un recipiente, e di servirsi poi dell'aria così compressa come motore universale. Un inconveniente assai notevole presenta l'applicazione dell'aria compressa nella diminuzione successiva di forza che le rimane, a misura che

si sprigiona, come ne abbiamo esempio nel fucile pneumatico. Se il passaggio dell'aria compressa dal recipiente al cilindro succedesse direttamente per un'apertura, è evidente che al primo aprirsi della comunicazione, lo stantuffo riceverebbe un urto violento capace di guastare l'apparecchio; è altresì evidente che il movimento farebbesi dopo pochi momenti più lento, diminuendo la forza motrice colla depressione dell'aria. L'artificio più semplice impiegato a togliere questo inconveniente, consiste in un robinetto che si apre pochissimo in principio, e di cui si va successivamente ampliando l'apertura, a misura che la pressione dell'aria diminuisce. I recipienti destinati a raccogliere l'aria condensata dall'azione delle trombe prementi poste in movimento dal corso dei fiumi, dall'urto dei venti ec., devono esser costruiti colla maggior solidità possibile. In recipienti le cui pareti non hanno più di una linea di grossezza, l'aria può esser compressa a 40 atmosfere: raddoppiando lo spessore, la compressione può giungere a 60 atmosfere. Un eccesso di compressione può compromettere l'apparecchio, ma non le persone che lo avvicinano, giacchè il vaso si fende, e l'aria ne sorte con acuto fischio, ma non accade esplosione. La forma più conveniente sembra la cilindrica. A questi serbatoj devono potersi unire a volontà, col mezzo di tubi muniti di robinetti, i recipienti vuoti nei quali si vuol raccogliere la forza per trasportarla altrove e servirsene. Supponiamo di avere uno di questi recipienti suscettibile di essere applicato ad una locomotiva destinata a percorrere un tratto di strada, ed ammettiamo che la sua capacità sia 500 volte quella del cilindro in cui deve funzionare lo stantuffo; ammettiamo inoltre che l'aria vi sia condensata a 60 atmosfere e che si voglia limitare l'azione dello stantuffo a tre atmosfere soltanto, col mezzo di un regolatore. Il recipiente caricato a 60 atmosfere e della capacità di 500 cilindri, equivarrebbe in capacità ed effetto ad un recipiente caricato a tre atmosfere soltanto, ma del volume di 10,000 cilindri ($10,000. = \frac{500 \times 60}{3}$). Regolando adunque l'efflusso dell'aria in modo che la tensione sia costantemente di tre atmosfere, il recipiente potrebbe servire per riempire e vuotare successi-

vamente 10,000 volte il cilindro, e per conseguenza ad ottenere 5,000 corse dello stantuffo, o ciò che è lo stesso 5,000 rivoluzioni delle ruote motrici. Se la ruota avesse 4 metri di circonferenza, la locomotiva percorrerebbe 20,000 metri, o cinque leghe. Questi dati ipotetici sono stati quasi intieramente confermati dall'esperienza.

L'Andraud ha proposto molte altre applicazioni al suo sistema di forza motrice per mezzo d'aria compressa. Fra queste merita special menzione quella della costruzione di cannoni ad aria compressa. Caricando questi cannoni a 80 o 100 atmosfere, ogni projectile potrebbe essere slanciato da una pressione corrispondente a 10 atmosfere, e quindi ogni cannone potrebbe tirare 8 a 10 colpi senza essere ricaricato. Un serbatoio comunicante con tutti i pezzi di una batteria in difesa di una piazza, potrebbe servire a caricare nuovamente ed in un momento tutti i pezzi scaricati. In caso di assedio, la guarnigione potrebbe essere impiegata a mantenere forniti d'aria compressa i serbatoj.

2.º DEL CALORICO.

Quando trattammo del differente stato della materia parlammo del calorico, e si disse che era considerato dalla maggior parte dei fisici come un fluido dotato di una grandissima forza espansiva e di un'affinità più o meno grande per tutti i corpi, per cui questi ne erano penetrati, e che lottando in essi coll'attrazione molecolare produceva, secondo la diversa sua intensità, le variazioni di densità e di stato cui vanno soggetti.

Senza stare a considerarlo siccome un fluido, lo riguarderemo semplicemente come una forza o agente, il cui effetto è contrario a quello dell'attrazione molecolare, producendo esso realmente l'allontanamento delle molecole dei corpi fra loro, e quindi l'aumento di volume di questi, e il loro pas-

saggio dallo stato solido al liquido ed all'aeriforme. Questo stesso agente è quello che produce sulle nostre membra le sensazioni di caldo e di freddo, ed in tal caso si distingue ordinariamente col nome di *calore*; ma sarebbe vana cosa tenersi a queste distinzioni di nome e non usare indifferentemente le denominazioni di calorico e di calore.

Noi divideremo il trattato del calore in cinque parti. La prima parte avrà per oggetto il cambiamento di volume, o la *dilatazione*, che il calorico produce nei corpi; la seconda il *cambiamento di stato*, ossia il passaggio dallo stato solido al liquido, e dallo stato liquido allo stato di vapore; la terza avrà per oggetto la propagazione del calore, che comprende la *conducibilità*, ossia la propagazione per contatto, e l'*irraggiamento* o la propagazione a distanza; la quarta, la *calorimetria* o la misura delle quantità di calorico che sono necessarie a produrre effetti determinati; ed infine la quinta, le *sorgenti del calorico*.

1.^o Della dilatazione.

La dilatazione dei corpi solidi pel calore si manifesta in un modo così evidente in un numero grandissimo di circostanze, che non sarebbe necessario di citare gli esperimenti che dimostrano questo fatto. Nei corsi di fisica si suol mostrare che una palla di rame riscaldata colla fiamma di una lampada o fra i carboni accesi non passa più per un anello da cui passava prima di esser riscaldata. La dilatazione dei liquidi si mostra immergendo nell'acqua calda un tubo di vetro terminato in un recipiente sferico pure di vetro e contenente un liquido colorato: tosto vedesi la colonna liquida ascendere nel tubo. Che i corpi gassosi si dilatino anch'essi pel calore, si dimostra per mezzo di un recipiente simile al precedente, ma la cui sfera contiene solo dell'aria, ed in cui la colonna liquida non ascende che fino ad un certo tratto del tubo. (Tav. VI, Fig. 167). In questo caso riscaldando l'aria della palla si vede abbassare la colonna liquida. A misura che i corpi si raffreddano diminuiscono di volume o si contraggono. La sfera di rame sopra citata, raffreddata che è, ripassa dall'anello che non poteva traversare dopo il riscaldamento.

Gli esempj ricordati bastano a dimostrare che i volumi di tutti i corpi, solidi, liquidi o gassosi, dipendono dai gradi di calore ai quali sono esposti, e che perciò i gradi di dilatazione possono servire a misurare i gradi di calore.

La *temperatura* di un corpo altro non è che il suo grado di calore sensibile. Quando si scalda un corpo, si dice che la sua temperatura aumenta; che si abbassa quando si raffredda; e che diversi corpi hanno la stessa temperatura, quando pel loro contatto il loro grado di calore non cangia.

Le temperature che dapprima non furono valutate se non in modo vago ed incerto per mezzo delle nostre membra, possono essere misurate in un modo sicuro ed esatto cogli effetti della dilatazione.

Gli apparecchi che servono a misurare le temperature chiamansi in generale *termometri*; nullameno si dà il nome di *pirometri* a quelli che servono a misurare le temperature altissime.

Il termometro più comune, quello che dobbiamo far conoscere pel primo, è il *termometro a mercurio*, rappresentato nella Fig. 168 della Tav. VI. La palla o bolla *b* è piena di mercurio, e questo liquido s'inalza nel tubo *t* fino ad una certa altezza *h*, la quale dipende dalla temperatura. Quando si scalda la palla, il mercurio aumenta di volume; il termometro sale, e si dice che la temperatura s'*inalza*; quando si raffredda, il mercurio diminuisce di volume, il termometro discende, e la temperatura s'*abbassa*. Tutte le volte che il termometro ritorna allo stesso punto, ossia allo stesso stato di volume, la temperatura è la stessa. Se si prendesse un altro termometro a mercurio più grande o più piccolo del primo, questi due istrumenti salirebbero e discenderebbero insieme; ma le ascensioni e le depressioni potrebbero essere differentissime: i serbatoj essendo eguali, basterebbe, per esempio, che il tubo del primo avesse un diametro dieci volte più piccolo del tubo del secondo, perchè i suoi movimenti avessero una estensione cento volte più grande; quando esso salisse di 100 millimetri, il secondo salirebbe di un sol millimetro. L'uno sarebbe cento volte più sensibile dell'altro. Questi termometri non potrebbero servire che a indicare delle tempe-

rature *eguali*, delle temperature *più alte* e delle temperature *più basse*, secondo che la sommità della colonna ritornasse ad uno stesso punto fisso, o che variesse al di sopra o al di sotto di questo punto. In questa guisa i termometri potrebbero già recare qualche vantaggio alla scienza; ma ciò che vi ha di essenziale nei termometri si è la loro graduazione, giacchè non è che col graduarli che si può giungere ad esprimere le temperature con dei numeri, a paragonarle fra loro, e a dedurre le leggi del calorico.

I principj della graduazione del termometro fondansi sul fatto seguente, cioè che v'ha dei fenomeni che produconsi costantemente alla stessa temperatura: tali sono per esempio i cambiamenti di stato dei corpi. Uno stesso corpo si fonde sempre esattamente alla stessa temperatura; così nel ghiaccio che si fonde, un termometro ritorna costantemente allo stesso punto; e ciò, tanto che il ghiaccio sia prodotto artificialmente o che si sia formato naturalmente in cima alle montagne, nei fiumi o nel mare. Lo stesso si è osservato pel punto di ebullizione: così nell'acqua pura che bolle sotto la pressione normale dell'atmosfera, un termometro rimane sempre allo stesso punto, sia che bolla adagio oppure vivamente: aumentando il calore si giunge a farla bollire più presto, ma non ad aumentarne la temperatura. Lo stesso deve dirsi di ogni altro liquido. Ciascuno di essi ha un punto fisso di ebullizione. Immaginiamo adesso che sul tubo del termometro si sieno segnati due punti fissi, quello cioè a cui giunge il mercurio nel ghiaccio in fusione, e quello a cui giunge nell'acqua in ebullizione. Se si dividerà in cento parti eguali l'intervallo che separa questi due punti, e si continueranno le divisioni al di sopra e al di sotto dei punti estremi, si avrà un termometro graduato, che dicesi *termometro centigrado* o *centesimale*. La scala centigrada del termometro è dovuta a Celso, fisico svedese, morto nel 1744.

Il zero, o il principio della scala si pone al punto del ghiaccio in fusione, e le divisioni che sono al di sotto del zero si distinguono col segno meno. Così -10° , -20° significano dieci gradi, venti gradi al di sotto della temperatura del ghiaccio in fusione. Poichè le diverse acque che incontransi

alla superficie della terra tengono disciolte varie materie estranee che possono alterarne il punto di ebullizione, i fisici hanno preferito di fissare il grado 100° del termometro al punto in cui si stabilisce la colonna termometrica nel vapore dell'acqua in ebullizione, conciossiachè la temperatura del medesimo è costantemente la stessa, qualunque sia la quantità dei sali tenuti disciolti dalle acque.

La costruzione del termometro a mercurio esige molte cure, che non possono trascurarsi volendo dare a questo strumento tutto il grado di sensibilità e di esattezza che si richiede per la misura delle temperature. Le operazioni alle quali riducesi la costruzione del termometro a mercurio sono le seguenti, cioè, la preparazione del tubo, l'introduzione del liquido, l'otturazione del termometro, e la sua graduazione.

I tubi del termometro devono avere un diametro interno che sia da per tutto lo stesso, affinchè delle lunghezze eguali corrispondano a dei volumi eguali. Per assicurarsi di questa condizione si fa passare nell'interno del tubo che si vuole impiegare una colonna di mercurio di uno a due centimetri di lunghezza; poscia con una leggiera pressione, che si può esercitare con una piccola vescica di gomma-elastica, si fa percorrere successivamente a questa colonna tutta l'estensione del tubo in presenza di una scala divisa. Se in ogni posizione essa occupa la stessa lunghezza si è sicuri che il tubo è cilindrico, e per impiegarlo alla costruzione del termometro non resta che a soffiarvi una palla o a saldarvi un recipiente cilindrico. Se invece essa occupa delle lunghezze ineguali, è necessario di calibrare il tubo, cioè a dire di segnare per tutta la sua lunghezza gl'intervalli più o meno grandi che corrispondono al volume costante della colonna o a delle capacità eguali.

Per introdurre il mercurio, si scalda il recipiente onde dilatarne l'aria, e quindi s'immerge rapidamente l'estremità del tubo in un bagno di mercurio. Il raffreddamento che ha luogo diminuisce l'elasticità dell'aria interna; e la pressione atmosferica costringe il liquido a salire sempre più, e basta che ne giungano solo poche gocce nel recipiente. Allora rovesciando l'apparecchio si riscalda di nuovo fino alla ebulli-

zione del liquido; i vapori del mercurio ne riempiono bentosto tutta la capacità; l'aria è completamente scacciata, e questa volta immergendo con molta rapidità l'estremità del tubo nel bagno di mercurio, si è quasi sicuri che si riempia intieramente. Prima di chiudere il termometro si fa sortire o rientrare del mercurio, fino a che la sommità della colonna corrisponda presso a poco all'altezza che si vuole scegliere per la temperatura media; poscia si chiude alla lampada l'estremità del tubo. Questa operazione può farsi in due modi: o facendo il vuoto al di sopra della colonna termometrica, o lasciandovi dell'aria. Nel primo caso si comincia dall'affilare l'estremità del tubo, e dopo ciò si scalda la bolla su dei carboni fino al punto di fare uscire una piccola goccia di liquido. In quello stesso momento si dirige il dardo del cannello sull'estremità del becco affilato del tubo, il vetro si fonde ed il tubo è chiuso; non riman più che a rotondarlo, presentandolo al dardo della lampada dopo che la colonna si è ritirata col raffreddamento. Nel secondo caso il termometro essendo alla temperatura ambiente, cioè a dire alla temperatura dell'aria circostante, si presenta l'estremità del tubo al dardo della lampada, e si chiude ermeticamente; poscia si mantiene rossa e presso a poco allo stato pastoso durante alcuni istanti; e allora scaldando rapidamente il recipiente, sia colla mano, sia con una lampada, la colonna sale, l'aria è spinta in avanti, e per la pressione che esercita alla sommità del tubo sul vetro fuso, formasi una specie di bolla più o meno grande, secondo che l'aria è spinta con più o meno forza. Questo serbatoio superiore è quasi sempre necessario quando si lascia dell'aria nell'apparecchio.

La graduazione del termometro consiste nel segnare i due punti fissi, e nel dividere in parti eguali l'intervallo che li separa. Per segnare il punto del ghiaccio in fusione, s'immerge in un vaso pieno di ghiaccio pestato o di neve il recipiente del termometro e tutta la parte dell'asta nella quale trovasi del liquido. La temperatura ambiente essendo più alta di 0°, il ghiaccio si fonde a poco a poco, e tutta la massa si mantiene alla temperatura fissa del ghiaccio in fusione. Dopo alcuni istanti il termometro che ha preso questa tempera-

tura, rimane perfettamente stazionario, e si segna il punto preciso in cui si trova la sua sommità: si segna prima coll'inchiostro, poscia vi si fa un tratto col diamante. Questo punto è lo zero, o il punto di partenza della scala termometrica. Per segnare il punto dell'ebullizione, si prende un vaso a lungo collo, nel quale si fa bollire dell'acqua stillata; dopo alcuni istanti di ebullizione, il vapore ne ha scaldate egualmente tutte le parti e fugge dalle aperture laterali; allora il termometro è circondato da ogni lato da un bagno di vapore, la cui temperatura è da per tutto la stessa, e da per tutto eguale alla temperatura del primo strato d'acqua bollente. Bentosto la colonna giunge ad un punto fisso che non può oltrepassare, ed è questo il punto di ebullizione, che si segna prima coll'inchiostro e quindi col diamante. Se nel momento dell'esperienza l'altezza del barometro differisse sensibilmente da 760^{mm}, converrebbe fare una correzione, di cui daremo il valore parlando dell'ebullizione.

Per eseguire la scala termometrica, quando il tubo è stato riconosciuto esattamente cilindrico, basta dividere in 100 parti eguali lo spazio compreso fra i due punti fissi del ghiaccio in fusione, e dell'acqua in ebullizione, e segnare ogni tratto col diamante. Ogni spazio compreso fra tratto e tratto è un grado del centigrado. Quando il tubo non è stato riconosciuto cilindrico, è stato calibrato, cioè a dire diviso in parti di eguale capacità. In questo caso ecco il modo col quale si eseguisce la graduazione. Ognuno degl'intervalli di egual capacità determinati sul tubo si divide in un certo numero di parti più piccole, le quali possono ritenersi eguali, essendo supponibile che il tubo conservi lo stesso diametro in ognuna di esse. Si conta il numero di questi spazi compresi fra i due punti fissi di congelazione e di ebullizione, e chiamando n questo numero, ogni grado del termometro dovrà contenere $\frac{n}{100}$ di queste divisioni.

Tutti i termometri a mercurio costruiti con questi principj sono degl'istrumenti paragonabili, cioè a dire che vanno d'accordo e indicano nello stesso tempo lo stesso numero di gradi. Infatti due volumi di uno stesso corpo presi a zero, se

portansi ad un'altra temperatura, in modo che uno di essi si dilati, per esempio della millesima parte del suo volume a 0° , l'altro si dilaterà pure della millesima parte del suo volume a 0° ; quindi due termometri a mercurio devono indicare nello stesso tempo 1° , 2° , 3° ec. perchè devono acquistare nello stesso tempo il centesimo, i due centesimi, i tre centesimi ec. dell'accrescimento di volume che sono suscettibili di prendere passando da 0° a 100° . Nulladimeno questo ragionamento non è vero, se non che supponendo il mercurio contenuto in vasi o in invogli solidi della stessa natura, giacchè nei termometri non è la *dilatazione assoluta* del mercurio che si osserva, ma la sua *dilatazione apparente*, cioè a dire la differenza che esiste fra l'accrescimento di volume del mercurio e l'accrescimento di capacità dell'invoglio che lo contiene. Se il vetro si dilatasse quanto il mercurio, il termometro rimarrebbe stazionario a qualunque temperatura; e se la custodia di vetro si dilatasse più del liquido che contiene, gli aumenti di calore farebbero abbassare il termometro invece di farlo salire. Affinchè i termometri sieno rigorosamente paragonabili, bisogna che i loro invogli sieno egualmente dilatabili.

Si possono costruire dei termometri a mercurio che segnino perfino 330 gradi, ma è impossibile di far loro segnare una maggior temperatura, essendo quella indicata vicinissima al punto di ebullizione del mercurio. Al di sotto di 0° il termometro a mercurio non dà delle indicazioni esatte che fino a -30° o a -35° , giacchè allora si avvicina al suo punto di congelazione che è verso 40° , e presso al loro cambiamento di stato tutti i corpi provano delle brusche variazioni nelle loro dilatazioni.

Bellani ha osservato che in generale lo zero dei termometri si sposta col tempo, come se il recipiente divenisse più piccolo, e s'inalza talvolta perfino due gradi al di sopra della sua posizione primitiva. Sembra che questa variazione di capacità nel bulbo del termometro dipenda dal riprendere che fa col tempo il vetro riscaldato il suo volume primitivo. Legend ha osservato che se il bulbo del termometro è di cristallo invece che di vetro, la variazione di capacità è estremamente piccola. Si può d'altronde ovviare a questo inconve-



niente graduando dei termometri nei quali la palla è stata soffiata da qualche anno, e in cui il mercurio è stato introdotto da molto tempo. Volendo fare delle esatte osservazioni termometriche, converrà prima verificare se lo zero del termometro ha subito l'accennato spostamento, tenendolo per qualche tempo immerso nel ghiaccio; e quando ciò sia avvenuto sarà necessario rettificare la scala.

Affinchè il termometro riesca molto sensibile ed atto a indicare le rapide variazioni di temperatura, è necessario che abbia il bulbo assai piccolo ed il tubo sottilissimo. In questo caso la massa del liquido, essendo piccola, fa d'uopo poco tempo affinchè si metta in equilibrio di temperatura col corpo che tocca.

Si costruiscono dei termometri anche coll'alcool colorato, ma nella costruzione di questi termometri si ha cura di lasciare una certa quantità di aria nell'interno del tubo, affinchè questa, comprimendosi per la dilatazione dell'alcool riscaldato, si opponga alla troppo sollecita ebullizione del liquido. Anche il vapor d'alcool che si forma col riscaldamento del termometro contribuisce a produrre questo effetto. La dilatazione dell'alcool non seguendo la stessa legge di quella del mercurio, i termometri ad alcool graduati sugli stessi principj di quelli a mercurio, hanno un andamento assai diverso da questi; e non sono perciò *comparabili* coi medesimi. Così mentre un termometro a mercurio indicherà 25° , quello ad alcool segnerà 20° nelle stesse circostanze. Il termometro ad alcool, attesa la proprietà di questo liquido di non congelarsi anco alle più basse temperature, s'impiega generalmente per misurare delle temperature bassissime per le quali quello a mercurio non potrebbe servire, e si gradua ordinariamente su quello a mercurio.

Oltre il termometro centigrado sono anche assai in uso il termometro di Reaumur, e quello di Fahrenheit che è esclusivamente adottato in Inghilterra. Questi due termometri sono graduati in un modo diverso del centigrado. Il termometro di Reaumur segna 0° nel ghiaccio e 80° all'ebullizione dell'acqua. Quello di Fahrenheit segna 32° nel ghiaccio e 212° all'ebullizione. È facile ridurre le temperature espresse in gradi del termometro centigrado in quelle dei termometri di Reaumur e

di Fahrenheit e reciprocamente. Infatti lo stesso intervallo è espresso da 100 divisioni in un caso, da 80 nell'altro e da 180 nell'ultimo; dal che si deduce che per esprimere un numero di gradi Reaumuriani in centigradi bisognerà moltiplicare i gradi Reaumuriani per $\frac{5}{4}$; e reciprocamente per esprimere un numero di gradi centigradi in Reaumuriani bisognerà moltiplicarli per $\frac{4}{5}$; parimente essendo data una temperatura in gradi di Fahrenheit, basta sottrarre 32 e moltiplicare il resto per $\frac{5}{9}$ per trasformarla in temperatura centigrada.

Si sono immaginati dei termometri nei quali l'indicazione rimane fissa. Questi termometri diconsi a *massimi* e a *minimi* od anche *termometrografi*, e servono a indicare le più alte e le più basse temperature, senza che sia necessaria la presenza dell'osservatore. I più semplici termometrografi sono quelli di Rutherford e di Bellani. Il primo non è riunito in un solo apparecchio, come è il secondo, ma consiste invece in due termometri separati, uno dei quali è a massimi e l'altro a minimi. Quello a *massimi* consiste in un termometro a mercurio con tubo orizzontale fornito di un indice mobile di fil di ferro posto all'estremità della colonna del liquido. Quando il mercurio si dilata l'indice è spinto innanzi, ma quando invece per lo abbassamento di temperatura il liquido si ritira, per la poca aderenza che ha il ferro pel mercurio rimane ove fu spinto, e il punto della scala ove giunse indica il maggior grado di calore, ossia la massima temperatura che risenti l'istrumento. Quello a *minimi* è invece un termometro ad alcool, pure orizzontale, con un indice o cilindretto di smalto più sottile del tubo che si colloca sulla superficie del liquido. Quando l'alcool per l'innalzamento della temperatura si dilata lascia l'indice al suo posto, mentre, per l'aderenza che ha per esso, lo trae seco quando pel raffreddamento si ritira, e così viene questo cilindretto a indicare la minima temperatura a cui fu esposto l'apparecchio. Se dunque si voglia conoscere la massima e la minima temperatura in 24 ore, si metterà l'estremità inferiore dell'indice di fil di ferro in contatto del mercurio, e si farà coincidere l'estremità superiore dell'indice di smalto colla estremità della colonna ad alcool. Ciò si ottiene facilmente inclinando un poco l'apparecchio. Il

giorno dopo la posizione dei due indici darà la massima e la minima temperatura.

Il termometrografo di Bellani si compone di un recipiente *R* (Tav. VI, Fig. 169) cilindrico, di vetro, contenente dell'alcool, e comunicante con un tubo ricurvo a doppia curvatura, che termina in un piccolo recipiente *r*. Il recipiente *R* ed una parte del tubo fino in *T* sono pieni di alcool; una colonna di mercurio occupa la porzione di tubo compresa fra *T* e *T'*, e la porzione *T''* del tubo contiene parimente dell'alcool. A ciascuna estremità della colonna di mercurio trovasi un piccolo indice di ferro, unito ad un piccolo anello fatto con un sol crino, il quale nel moversi sfrega le pareti del tubo. Questo anello, per la sua elasticità è capace di sostenere l'indice di ferro in mezzo all'alcool all'altezza a cui è stato spinto dalla colonna di mercurio, ma non gl'impedisce di progredire, quando è spinto innanzi dalla colonna medesima. Per disporre l'apparecchio per l'esperienza, si fanno prima discendere gl'indici sul mercurio per mezzo di una calamita. Se la temperatura si abbassa, la colonna di mercurio sale dal lato del serbatoio *R*, e l'indice *T*, spinto dal mercurio, s'innalza, e resta al punto più alto a cui è giunto il mercurio. Se invece la temperatura s'innalza, la colonna di mercurio sale nel tubo opposto; l'indice *T'* vien sollevato a sua volta, e rimane là dove la colonna di mercurio si arresta. Vedesi adunque, che il primo dei due indici è destinato a misurare le temperature minime, ed il secondo le massime. La graduazione del termometrografo dev'essere accuratamente verificata per mezzo di un termometro campione.

Termometro a massimo ed a minimo di Walferdin. Il termometro a massimo ed a minimo di Walferdin è il più atto, fra i termometri di questa specie, a far conoscere la temperatura dei luoghi inaccessibili agli osservatori, come sarebbero il fondo di un pozzo o di una caverna, la profondità del mare, di un lago ec. Gli altri termometri a massimo ed a minimo, quando vengono discesi, chiusi entro astucci metallici, vanno ordinariamente soggetti a scuotimenti che possono spostare gl'indici e produrre dei considerevoli errori. Quello di Walferdin non va soggetto a questo inconveniente. Esso consiste in nn (Tav. VI, Fig. 170)

termometro a mercurio avente all'estremità superiore del cannello un serbatojo *a* o ricettacolo di versamento, nel quale il cannello finisce con una piccola apertura sporgente *b*. Supponiamo che si voglia misurare la temperatura di un'acqua termale posta ad una certa profondità, la quale si sappia essere superiore a 20° . Allora si pone il termometro in un bagno la cui temperatura, misurata con buon termometro modello, sia di 20° ; il mercurio dilatandosi uscirà per la punta *b*, e si verserà nel serbatojo *a*, e quando l'equilibrio di temperatura sarà avvenuto, resterà pieno di mercurio tutto il cannello con una goccia all'estremo della punta, che si fa cadere dando una piccola scossa all'istrumento. Ora, immaginiamo che il medesimo discenda nell'acqua termale supposta; fintantochè l'ambiente avrà temperature minori di 20° , il mercurio discenderà, ma non appena la temperatura diverrà più elevata nuovo mercurio si verserà nel serbatojo. Si aspetta dunque per un certo tempo, affinchè s'abbia l'equilibrio, quindi si scuote se si può, l'istrumento, e si fa risalire. Riportandolo nel bagno a 20° , misurati al solito dal termometro modello, supponiamo che il mercurio si fermi a 10° della scala del termometro a massimo; è chiaro che la temperatura dell'acqua era di $20^{\circ} + 10^{\circ}$.

Si potrebbe anche non tener conto della scala del termometro a massimo, misurando tutto con quella del termometro modello, perocchè tirato quello fuori dell'acqua e riportato in un bagno che si riscaldi gradatamente, finchè il cannello si empia di mercurio, è chiaro che la temperatura attuale del bagno dev'essere eguale a quella dell'acqua in cui lo strumento fu poco prima introdotto. Inclinando convenientemente l'apparecchio dopo averne completamente riempito il cannello per mezzo del riscaldamento, si fa rientrare il mercurio travasato.

Il termometro a minimo dello stesso fisico (*Tav. VI, Fig. 171*) è anch'esso un termometro a mercurio, ma è fornito alla sua estremità inferiore di un serbatojo contenente del mercurio e dell'alcool, nel quale s'immerge la punta che termina il tubo; ed alla sua estremità superiore porta un altro serbatojo pieno di alcool. Se, per esempio, si vuole osservare la tem-

peratura che presenta il mare ad una grande profondità, la quale si supponga dovere essere di circa 6° , si comincia dal raffreddare l'apparecchio a 0° , ovvero a diversi gradi sotto 6° ; allora s'inclina l'apparecchio affinchè il mercurio tocchi la punta del tubo (*Tav. VI, Fig. 172*), e si scalda un poco onde la dilatazione costringa il mercurio a salire nel tubo; vi si fa così entrare una colonna della lunghezza di 10° a 15° ; ciò fatto si raddrizza l'istrumento, s'immerge in un bagno di temperatura nota e superiore a 6° , per esempio a 12° , quindi si nota la divisione corrispondente alla sommità della colonna di mercurio; allora l'apparecchio è preparato per l'osservazione, e si fa discendere nel mare. Se i primi strati sono caldi la colonna del mercurio è sollevata, e può anche entrare nel serbatoio superiore; ma quando si giunge agli strati freddi, il mercurio ridiscende fino alla punta inferiore, e ricade in parte nel serbatoio fino a che l'equilibrio non si è stabilito. Quando si fa risalire, la dilatazione solleva la colonna di mercurio residua e basta allora leggere sul tubo qual numero di gradi rappresenta; questo numero tolto da 12 darà la temperatura cercata.

Per determinare le temperature molto alte, come sarebbero quelle alle quali operansi le fusioni dei metalli, non si può ricorrere ai termometri. Si fa allora uso di certi particolari istrumenti distinti col nome di *Pirometri*. Il *Pirometro di Wedgwood* è quello più comunemente adoprato nelle arti. Si fonda quest'istrumento sulla diminuzione di volume che subisce l'argilla perdendo col calore l'acqua che contiene; questa diminuzione cresce colla temperatura, ma secondo una legge non ben conosciuta. Si compone di una lastra di rame *ABCD* (*Tav. VI, Fig. 173*) sulla quale sono fissate tre sbarre dello stesso metallo, inclinate fra loro in modo che l'intervallo compreso fra le sbarre *N* e *P* sia eguale a quello che formerebbe il prolungamento delle sbarre *M* ed *N*. In una è segnata una scala di 240 gradi. Dei piccoli coni troncati di argilla e cotti al calor rosso nascente, posti fra le sbarre, s'introducono fino ad un certo tratto segnato con zero. Quando si vuol conoscere la temperatura di un forno vi s'introduce uno dei piccoli coni di argilla, ponendolo in un crogiuolo chiuso; si estrae

dopo che ha preso la temperatura del forno, si lascia raffreddare e si pone tra le sbarre, facendolo avanzare fino al punto il più alto a cui può giungere: il grado della scala al quale giunge indica la temperatura. Affinchè le indicazioni di uno stesso strumento sieno paragonabili, bisogna che i coni di prova sieno sempre costruiti colla stessa sostanza; ed anche in questo caso l'istrumento non può indicare dei rapporti di temperatura, giacchè non si sa, se la diminuzione di volume sia proporzionale alla temperatura. Secondo Wedgwood lo zero di questo Pirometro corrisponde a $500^{\circ} 5$ centigradi, ed approssimativamente ogni suo grado corrisponde a $72^{\circ} 2$ dello stesso termometro. Ecco i risultati ottenuti per mezzo di questo apparecchio sulla temperatura richiesta per la fusione dei tre seguenti metalli.

L'argento fonde a 28 Wedgwood, ossia a 2516° del termometro centigrado.

L'oro	a	32°	"	$480\frac{1}{2}^{\circ}$
Il ferro	a	150°	"	11300°

Dopo quanto abbiamo sopra esposto è inutile avvertire che queste valutazioni in gradi centigradi, devono esser considerate erronee.

Un altro Pirometro assai semplice consiste in una tavoletta *AB* d'argilla cotta (*Tav. VI, Fig. 174*), la più refrattaria, in cui è praticata una scanalatura, nella quale si pone una verga metallica *ab*, fissa alla sua estremità *a*, mentre l'altra estremità *b* si appoggia sul braccio minore *om* della leva *mon*, il cui braccio maggiore *on* serve d'indice, scorrendo sopra l'arco graduato *cd*. La verga metallica esposta al calore si dilata, mentre la tavoletta d'argilla non prova alcun cambiamento sensibile nelle sue dimensioni, per cui i moti dell'allungamento della verga metallica si comunicano alla leva, la quale col suo maggior braccio segna sull'arco i gradi del calore medesimo. P'ei primi 200 e 300 gradi si stabilisce la scala col confronto d'un termometro a mercurio, e si prolunga sull'arco con gradi di egual dimensione, nella supposizione che la verga metallica si dilati uniformemente anche a temperature più elevate. La tavoletta d'argilla, nella quale è contenuta la verga metallica, vien posta nel forno

di cui si vuol misurare la temperatura; l'ago ed il quadrante sono situati all'esterno. Dalle indicazioni di questi Pirometri si può concludere, allorchè sono eguali, che la temperatura è la stessa, ed è questo che basta ordinariamente nelle arti.

Per le piccole variazioni di temperatura si ricorre a diversi termometri fondati sopra la dilatazione dell'aria e distinti col nome di *termoscopi*. Il più semplice consiste in un tubo di vetro che ha una grossa palla alla sua estremità superiore e che posa col suo orifizio in un liquido colorato che è alquanto sollevato nel suo interno (*Tav. VI, Fig. 167*). Questo strumento sensibilissimo non può fornire risultati esatti e paragonabili senza fare delle correzioni che impareremo a determinare parlando della dilatazione dei gas. È chiaro che le variazioni della pressione barometrica producono degl'innalzamenti e degli abbassamenti nella colonna di questo termometro, indipendentemente dalla temperatura.

Il *Termoscopio di Leslie* o *Termometro differenziale* dà delle indicazioni più esatte del precedente. Consiste in un tubo *ABCD* (*Tav. VI, Fig. 175*), di cui le estremità sono terminate da due palle *M* ed *N* piene di aria. Le braccia *AB* e *CD* sono molto lunghe, e l'indice è una colonna liquida di acido solforico colorato col carminio; quest'indice si solleva nei due bracci verticali. È chiaro che i movimenti di questa colonna sono indipendenti dalla pressione atmosferica, e non dipendono che dall'eccesso di temperatura che ha l'aria di una delle bolle sopra quella dell'altra. Se la temperatura è la stessa non v'ha alcun sollevamento nell'indice; ma se una delle bolle è più riscaldata dell'altra, l'indice, si muoverà andando sempre verso quella delle due palle la cui temperatura è più bassa. Questo genere di Termoscopio indica così la differenza di temperatura dell'aria delle due palle, ed è perciò che dicesi differenziale. Per graduare questo strumento basta di riscaldare l'aria di una delle palle dieci gradi al disopra di quella dell'altra. Lo zero della scala essendo dato dal livello della colonna quando le due palle sono alla stessa temperatura, si divide lo spazio percorso dall'indice in 100 parti eguali che sono i gradi di questo strumento. Il *Termoscopio di Rumford* non differisce dal precedente se non per

avere il tubo orizzontale *BC* molto lungo, l'indice corto; e la gradnazione, fatta intieramente sopra questa porzione orizzontale, ha il suo zero nel mezzo del tubo, ove va a fissarsi l'indice quando le due bolle trovansi alla stessa temperatura.

Cenni storici intorno all'invenzione del Termometro. L'invenzione degli apparecchi termometrici devesi a Galileo; ma il termometro da lui immaginato era ben lungi dalla perfezione degli attuali. Il corpo termoscopico del medesimo era l'aria; e l'apparecchio non differiva da quello rappresentato nella Figura 167, e non aveva scala: perciò era pinttosto un *termoscopio*, cioè a dire un indicatore delle subitanee variazioni di temperatnra, che un vero termometro. Circa mezzo secolo dopo, l'Accademia fiorentina del Cimento modificò l'istrumento del Galileo, adottando l'alcool come corpo termoscopico, e dando all'apparecchio l'esatta disposizione dei termometri attuali, meno la scala fondata su qualche temperatura fissa. I termometri dell'Accademia del Cimento erano in vero graduati, ma privi di punti fissi; e se riuscivano comparabili fra loro ciò dipendeva dall'abilità dell'artefice che destramente regolava la quantità dell'alcool colla capacità del bulbo e del vano del tubo. Concepivano però chiaramente quei fisici che i loro termometri non potevano riuscir comparabili quando fossero costruiti da persone diverse e con regole differenti, e perciò cercarono per qualche tempo la soluzione di quel problema, ma sempre invano. Nei primi anni del secolo scorso Carlo Renaldini, professore di fisica a Padova, costruì i primi termometri comparabili, servendosi del mercurio per corpo termoscopico. Egli segnava lo zero al punto in cui giungeva questo liquido nel ghiaccio; il dodicesimo grado là dove giungeva, nell'acqua bollente, dividendo l'intervallo in 12 parti eguali. L'invenzione del Renaldini non era per anco abbastanza diffusa, quando nel 1724, Farhenheit costruì il termometro che porta anch'oggi il suo nome. Poco appresso s'immaginarono le altre scale, già da noi descritte.

Misura della dilatazione dei corpi solidi. Abbiamo visto la dilatazione prodotta dal calore essere una proprietà generale dei corpi, e fondarsi sulla medesima l'impiego dei termo-

metri. Esaminiamo adesso i mezzi adoprati per misurare le dilatazioni dei differenti corpi. Si opera questa misura determinando il loro *coefficiente di dilatazione*, cioè a dire quella quantità di cui aumenta il loro volume al crescere di un grado la temperatura. Questo coefficiente varia da un corpo all'altro, meno che nei gas, nei quali ha lo stesso, o presso che lo stesso valore per tutti.

Il coefficiente di dilatazione dei corpi solidi suol determinarsi deducendolo dalla loro dilatazione lineare. Questa determinata, siccome i corpi solidi omogenei dilatansi egualmente in tutte le direzioni, basterà triplicarla per avere la dilatazione cubica o in volume. Dicesi *dilatazione lineare* di un corpo il rapporto che esiste fra il suo allungamento e la sua lunghezza a zero, quando la sua temperatura s'innalza da 0° a 1° . Così chiamando l la lunghezza di una sbarra metallica alla temperatura di 0° , chiamando b l'allungamento che subisce passando da 0° ad 1° , ed n la sua dilatazione lineare, si ha il rapporto:

$$n = \frac{b}{l} \text{ o } nl = b$$

Il valor numerico di n per ogni sostanza è il coefficiente della dilatazione lineare della medesima.

La *dilatazione cubica* di un corpo è il rapporto che esiste fra il suo aumento di volume ed il suo volume a zero, quando la sua temperatura s'innalza da 0° ad 1° . Designando con v il volume di un corpo alla temperatura di 0° , con a l'aumento di volume che prova nel passare da 0° , ad 1° , e con m il suo coefficiente di dilatazione cubica, si ha il rapporto

$$m = \frac{a}{v} \text{ ossia } a = mv$$

È facile di vedere che per ogni corpo la dilatazione cubica è il triplo della dilatazione lineare. Infatti i corpi si dilatano egualmente in tutte le dimensioni. Se si rappresenta con b la lunghezza dello spigolo di un cubo alla temperatura di 0° , e con n la dilatazione lineare della sua sostanza, ogni spigolo diverrà $l + ln$ ovvero $l(1 + n)$ alla temperatura di 1° , ed il volume dilatato del cubo sarà $l^3(1 + n)^3$ ossia $l^3(1 + 3n + 3n^2 + n^3)$ ovvero $l^3(1 + 3n)$, perchè si possono omettere i termini in cui n è a quadrato ed a cubo;

l'accrescimento del volume sarà dunque $l^3 \times 3n$ e l'accrescimento del volume diviso pel volume a 0° , ossia la dilatazione cubica m sarà :

$$m = \frac{l^3 \times 3n}{l^3} = 3n$$

Posto ciò, per trovare il coefficiente di dilatazione lineare di un solido, basterà determinarne la sua lunghezza a 0° , quindi riscaldarlo fino ad una certa temperatura t , e determinarne l'acquistata lunghezza, che chiameremo l' . È chiaro che l'allungamento subito dal corpo è eguale a $l' - l$, talchè rappresentando con m il suo coefficiente di dilatazione, avremo

$$m = \frac{l' - l}{lt}$$

Mercè questa formola, essendoci noto il valore di m per un dato corpo, potremo facilmente determinare la lunghezza l' che acquisterà, portato che sia ad una certa temperatura t . Avremo allora

$$l' = l + lmt$$

Ed essendoci nota la lunghezza l' di un corpo ad una qualunque temperatura t ed il suo coefficiente di dilatazione, potremo facilmente determinare qual sarebbe la sua lunghezza l , a 0° . Si ha infatti

$$l = \frac{l'}{1 + mt}$$

Lavoisier e Laplace cerca rono i primi di determinare la dilatazione lineare dei corpi solidi. Le sbarre sottoposte all'esperienza avevano due metri di lunghezza, ed erano orizzontalmente sospese in una caldaja A (*Tav. VI, Fig. 176*) posta su di un fornello. Quattro pilastri b di pietra, di grandi dimensioni, fortemente basati, servivano come punti di appoggio perfettamente fissi; essi erano riuniti due a due da delle sbarre di ferro c e c' , d e d' . A ciascuna delle due prime erano attaccate delle lamine di cristallo forate nelle loro estremità inferiori per dar passaggio e sostenere la sbarra metallica sottoposta all'esperienza. Questa sbarra appoggiavasi con una estremità ad una lastra di cristallo molto grossa RR' perfettamente immobile e coll'altra estremità ad una leva mobile f , capace di far girare la traversa d' , e quindi la leva g e il canoc-

chiale h . Il bagno della caldaja e la sbarra essendo a zero, ed i contatti bene stabiliti, col canocchiale si prendeva una mira a 200 metri di distanza sopra un regolo m verticale e accuratamente diviso; notato questo punto di partenza si scaldava per esempio a 100° ; allora la sbarra sottoposta alla prova si allungava più o meno secondo la sua natura; le leve f e g ed il canocchiale h ponevansi in moto, per arrestarsi quando l'effetto della dilatazione per questa temperatura era completamente prodotto. Conoscendo i rapporti dei bracci di leva f e g , come anche il rapporto delle distanze ik ed im era facile calcolare l'allungamento della sbarra, dallo spazio conosciuto che era stato percorso sulla mira.

Lavoisier e Laplace, come anche altri fisici, che esperimentarono con processi simili, stabilirono il coefficiente della dilatazione lineare di molte sostanze riscaldate da 0° a 100° . Ecco alcuni di questi coefficienti stabiliti dalle loro esperienze: Rame $\frac{1}{114}$. Ottone $\frac{1}{115}$. Ferro dolce $\frac{1}{117}$. Acciajo non temprato $\frac{1}{118}$.

Il risultato generale delle molte ricerche tentate sopra la dilatazione dei solidi, si è, che questi per le temperature comprese fra 0° e 100° ed anche 150° si dilatano uniformemente o proporzionalmente alla temperatura, valutata in gradi del termometro a mercurio; ma a delle temperature superiori la dilatazione cresce più rapidamente della temperatura; quindi il coefficiente di dilatazione diviene esso pure crescente, ma non v'ha sostanza per la quale se ne conosca il valore al di sopra di 350° .

Nelle costruzioni in cui s'impiegano delle verghe o delle lastre metalliche, gli effetti della loro dilatazione pel calore, e della loro contrazione pel freddo, meritano un'attenta considerazione. Il ferro che è sì di frequente impiegato all'esterno delle costruzioni, può raffreddarsi durante l'inverno, a circa -20° , ed inalzarsi nell'estate fino a 40° . Questa variazione di 60° , è presso a poco la stessa che se avesse lo 0° per punto di partenza, invece di -20° . Il coefficiente della dilatazione del ferro essendo 0,0000118, per 60° l'allungamento è 60 volte maggiore, ossia 0,000708. Sopra una lunghezza di 100 metri a 0° , l'allungamento sarà 0^m,0708, ossia quasi 71 millimetri. Un tal cambiamento di lunghezza, potrebbe storcer le barre, re-

spingere i loro punti di appoggio, guastare il muramento, e fare altri simili danni, se non vi si ovviasse rompendo la continuità delle barre stesse, lasciando così alle diverse parti la libertà di eseguire i loro movimenti di dilatazione e di contrazione. In una strada ferrata di 100 chilometri, se le rotaje fossero continue o in contatto immediato, l'allungamento, dall'inverno all'estate, sarebbe di 70 metri; perciò si ha cura di lasciare ad ogni giuntura uno spazio sufficiente al libero movimento delle verghe.

Applicazioni della dilatabilità dei metalli. Lo sforzo che fanno le lamine metalliche nell'allungarsi per l'innalzamento della temperatura è molto considerevole. Esso è eguale alla forza che converrebbe impiegare per comprimerle di una quantità eguale alla dilatazione. Se noi consideriamo che delle grandissime pressioni non producono sui corpi solidi, e principalmente sui metalli, se non piccolissime variazioni di volume, ci faremo idea di quanto sia considerevole questo sforzo. La forza colla quale i corpi solidi tendono a contrarsi per l'abbassamento della temperatura, è evidentemente eguale allo sforzo che converrebbe fare per allungarli di un'estensione eguale a quella della contrazione. Alcuni ingegneri, ad esempio del Molard, hanno messo a profitto la forza che si genera nel ritiro delle sbarre metalliche, nel raffreddamento, per raddrizzare delle muraglie divergenti. Ecco come si giunge a questo intento. Si fanno traversare le muraglie da grosse sbarre di ferro terminate esternamente da viti. Riscaldando queste sbarre esse escono maggiormente dai muri; e mentre sono così allungate si girano le madreviti in modo da stringerle fortemente contro i muri. Nel raccorciarsi pel raffreddamento le sbarre tirano seco i muri e li ripongono al posto. I cerchi di ferro che si pongono alle colonne e alle ruote, si scaldano prima di applicarli, e si lasciano raffreddare al posto onde ne serrino e stringano le parti. Con questo processo è stata consolidata con un gran cerchio la cupola di S. Pietro di Roma.

Sulla differente dilatabilità dei metalli si fonda un mezzo utile per rendere esatti gli orologi a pendolo. In questi orologi l'asta che sostiene la lente, essendo sottoposta alle variazioni della temperatura dell'atmosfera, cambia ad ogni istante di lunghezza; e queste variazioni turbano la regolarità dei mo-

vimenti dell'orologio, il quale ritarda se la temperatura aumenta, ed avanza se diminuisce. Per evitare queste irregolarità, che invero sono piccolissime pei nostri giornalieri bisogni, ma molto considerevoli nelle osservazioni astronomiche, basta disporre l'apparecchio in modo che malgrado le variazioni di temperatura, il centro di gravità della lente resti ad una distanza costante dall'asse di rotazione. Per raggiungere questo intento si dà ai pendoli una costruzione particolare, per la quale ricevono il nome di *pendoli compensatori*. I più usati hanno la forma indicata dalla Figura 177. L'asta *FG* che porta la lente è sospesa ad un telajo di rame *feef*, che colla sua parte inferiore riposa sopra un altro telajo di ferro *eddc*; quest'ultimo è fisso alla parte superiore di un altro telajo di rame *abba*, il quale pure riposa sulla traversa inferiore di un gran telajo di ferro *ABCD*. L'estremità inferiore dell'asta può scorrere entro a dei fori praticati sulle traverse orizzontali *cc*, *AD* dei telai. Per questa disposizione accade che tutti i telaj di ferro tendono a far discendere la lente, mentre tutti quelli di rame tendono a farla risalire; e poichè il rame si dilata più del ferro, si possono sempre determinare le lunghezze relative delle verghe di ferro e di rame, in modo che la lente resti costantemente alla stessa distanza dal punto di sospensione.

Un altro pendolo compensatore si fonda sulla curvatura che le variazioni di calore fanno prendere al sistema di due lamine di metalli diversi riunite insieme con viti o con saldature. Quando la temperatura cambia, le dilatazioni o le contrazioni dei due metalli essendo disuguali, la doppia lamina cessa di esser piana, e s'incurva in modo che il metallo più dilatabile possa prendere una lunghezza maggiore o minore dell'altro, occupando così la convessità o la concavità della curva formata (*Tav. VI, Fig. 178*). Se delle masse di un metallo molto pesante son fissate all'estremità di questa doppia lastra impiantata perpendicolarmente nell'asta del pendolo, e se il metallo più dilatabile è rivolto in basso, le masse s'inalzeranno quando l'asta si allungherà, e così rimonterà il centro di gravità del pendolo, mentre tenderà a scendere per l'allungamento dell'asta. Accadrebbe il contrario per un abbassamento di temperatura.

Negli orologi il regolatore del movimento è un bilanciere AB mosso da una molla a spirale, la quale restringendosi ed allargandosi successivamente costringe il bilanciere a girare alternativamente sopra sè stesso; ma se la temperatura viene a cambiare, le dimensioni del bilanciere e della molla cangiano, e quindi la durata delle oscillazioni. Venendo a crescere la temperatura, il movimento dell'orologio si rallenta; mentre si accelera se dessa diminuisce. Per distruggere nei cronometri questi effetti si fissano al bilanciere delle lamine compensatrici MN ed $M'N'$ (*Tav. VI, Fig. 179*) costruite con delle lamine di rame e di ferro; le estremità portano delle piccole masse d'oro che possono avvicinarsi o allontanarsi. Quando la temperatura cambia, la curvatura delle lamine compensatrici cambia anch'essa, ed esse allontanano o ravvicinano le piccole masse M ed N' al centro di rotazione: nel primo caso sarà necessaria una maggior forza nella spirale per farle girare; nel caso contrario la loro rotazione esigerà una forza minore. Si potranno dunque disporre le lamine in modo che le variazioni di queste forze sieno in senso contrario di quelle che prova la spirale pei cambiamenti di temperatura.

Breguet ha immaginato un termometro metallico molto sensibile, fondandosi sul principio delle lamine compensatrici. Questo termometro si compone di una spirale metallica MN (*Tav. VI, Fig. 180*) che è fissata in una pinzetta, e stretta a vite ad una estremità. Questa estremità della spirale è sostenuta da un braccio QP fisso sopra un piano AB . All'altra estremità libera della spirale è unito perpendicolarmente un ago ab che serve da indice, scorrendo sopra un circolo graduato. Il tutto è coperto da una campana di vetro. La spirale di questo termometro si compone di una sottilissima lamina fatta di tre altre lamine saldate insieme, di platino, d'oro e di argento, e la spirale è disposta in modo che l'argento ne occupa la concavità. Poichè questa lamina di argento si dilata e si contrae, per le variazioni di temperatura, assai più delle altre due, deve di necessità la spirale distendersi o contrarsi, diminuire o aumentare di curvatura per le variazioni di calore. La lamina d'oro interposta non fa che moderare questi movimenti; giacchè l'argento dilatandosi molto più del platino,

potrebbero le variazioni assai brusche di temperatura portare la rottura o la separazione delle due lamine. Questo termometro è estremamente sensibile; basta di avvicinare una mano alla spirale perchè l'indice si muova all'istante di molti gradi. S'intende presto questa grande sensibilità, riflettendo quanto è piccola la massa della spirale che deve scaldarsi, e quanto è grande la conducibilità pel calore dei metalli che la compongono.

Misura della dilatazione dei liquidi. — La misura della dilatazione dei liquidi può aversi con un metodo immaginato da Dulong e Petit e da essi impiegato alla determinazione della *dilatazione assoluta del mercurio*. Così chiamasi l'effettiva dilatazione che subisce questo liquido; imperciocchè quella che ci viene indicata dal termometro non è che una dilatazione relativa, essendo essa la differenza della dilatazione del mercurio e quella del vetro in cui è contenuto.

L'apparecchio di cui si servirono Dulong e Petit per la determinazione della dilatazione assoluta del mercurio, consisteva nella sua maggior semplicità in due larghi tubi di vetro *A* e *D*, in comunicazione per mezzo di un tubo sottile orizzontale *BC*, nei quali versavano del mercurio. Ora, secondo la legge dell'equilibrio dei liquidi nei vasi comunicanti, questo liquido doveva inalzarsi alla medesima altezza nei due bracci *AB* e *CD*. Se questi due bracci avessero contenuto due liquidi di diversa densità, le loro altezze dovevano essere, nello stato d'equilibrio, in ragione inversa della loro densità; e ciò qualunque fossero le dimensioni relative dei due bracci verticali e le loro forme, purchè i tubi all'altezza dei livelli non fossero capillari. Uno dei tubi era tenuto costantemente alla temperatura di zero, mentre nell'altro tubo la temperatura s'inalzava più o meno. Il mercurio contenuto in questo tubo veniva a dilatarsi, quindi diminuiva la sua densità, e per l'equilibrio fra le due colonne era necessario che la sua altezza aumentasse. Dalla differenza di lunghezza delle due colonne si deducevano immediatamente le varie dilatazioni di quella che veniva riscaldata alle diverse temperature a cui era esposta. Le lunghezze delle due colonne sono in ragione inversa della loro densità; la densità è in ragione inversa dei

volumi, e perciò le altezze sono proporzionali ai volumi. L'allungamento che subisce una delle colonne liquide è in questo modo affatto indipendente dalla forma del vaso e dall'aumento della sua capacità pel riscaldamento, ed è perciò proporzionale all'accrescimento di volume che il liquido proverebbe, supponendo che fosse contenuto in recipienti che non variassero di forma per l'inalzamento della temperatura. Perciò chiamando h l'altezza della colonna del mercurio, esposta a 0° ed h' quella della colonna riscaldata a t gradi, e K il coefficiente di dilatazione assoluta del mercurio, avremo:

$$K = \frac{h' - h}{h t}.$$

Dulong e Petit non trascurarono cautele per procedere in queste ricerche. Il loro intiero apparecchio è rappresentato dalla Figura 181 della Tavola VI. $ABBA'$ è il tubo ricurvo che contiene il mercurio, e si compone dei due larghi tubi AB e $A'B'$ che sono riuniti da un tubo orizzontale BB' assai sottile e di un eguale diametro in tutti i punti. Gli effetti della capillarità sono tolti con questa costruzione. Il tubo orizzontale riposa sopra una grossa sbarra di ferro MN , sulla quale vi sono due livelli a bolla d'aria, posti ad angolo retto e destinati a verificare la perfetta orizzontalità della sbarra medesima. La temperatura del braccio AB è mantenuta costantemente a zero, per mezzo di un cilindro di latta che lo circonda, e che si empie di ghiaccio triturato. Per inalzare la temperatura dell'altro braccio $A'B'$ si adopra un cilindro di rame che lo circonda, che si empie di olio al cominciare dell'esperienza, e che ha sotto di sè un fornello pel riscaldamento di questo liquido. Tre termometri di genere diverso servono a determinare la temperatura di questo bagno. Uno di questi è un termometro ordinario a recipiente cilindrico; un altro è un *termometro* così detto a *pesi*, consistente in un largo tubo di vetro empito di un determinato peso di mercurio a zero, da cui il riscaldamento fa uscire una certa quantità di mercurio, dal peso della quale si deduce la temperatura del bagno; ed un altro infine è un termometro ad aria, di cui tratteremo fra breve. Infine la determinazione delle altezze vien fatta per

mezzo di un canocchiale orizzontale, mobile sopra un regolo verticale diviso e munito di verniero.

Dulong e Petit, dopo aver ripetuto molte volte l'esperienza descritta, stabilirono che il coefficiente della dilatazione assoluta del mercurio è $\frac{1}{1110}$. Ma essi osservarono che questo coefficiente si mantiene costante solo per le temperature comprese tra 0° e 100° , mentre cresce al di sopra di 100° , essendo il coefficiente medio tra 100° e 200° eguale ad $\frac{1}{1111}$, e tra 200° e 300° eguale ad $\frac{1}{1100}$. Il numero esprime la dilatazione apparente del mercurio nel tubo termometrico è $\frac{1}{1100}$. La differenza di questi due numeri deve attribuirsi all'accrescimento di capacità del recipiente. Si può anzi dedurre da questa differenza la dilatazione del vetro che forma il recipiente termometrico. Difatti l'accrescimento di capacità di questo recipiente equivale alla dilatazione che proverebbe un volume di vetro tutto solido eguale alla capacità del recipiente stesso, e soggetto a quella temperatura.

Da ciò ne è nato il metodo che viene impiegato per la determinazione del coefficiente di dilatazione di tutti quei corpi solidi capaci di prendere la forma di un termometro. Ecco in che consiste questo metodo. Si riempie il recipiente termometrico di mercurio alla temperatura di 0° , poscia si raccoglie il liquido che esce riscaldandolo ad una certa temperatura. La dilatazione apparente è data dalla quantità di mercurio che esce dal tubo ad ogni operazione. Infatti, sia P il peso totale del mercurio contenuto nel tubo a zero, sia p il peso del volume scacciato dal calore; $\frac{p}{P - p}$ è il rapporto fra il peso del volume uscito dal tubo, e il peso del volume rimanente. Questo rapporto esprime la dilatazione apparente per t gradi, per cui dividendo per t , si avrà la dilatazione del mercurio per l'unità di volume e l'unità di temperatura. Si sostituiscono qui i pesi ai volumi, giacchè, ad una stessa temperatura, i pesi sono proporzionali ai volumi. Quindi chiamando d la dilatazione apparente del mercurio, avremo $d = \frac{p}{(P - p)t}$, che abbiamo già detto essere eguale a $\frac{1}{1100}$.

Sottraendo dalla dilatazione assoluta l'apparente, si ottiene il coefficiente di dilatazione del corpo solido che costituisce il recipiente. Con questo metodo si è giunti a stabilire che il coefficiente di dilatazione del vetro è eguale ad $\frac{1}{5550}$ del suo volume a 0° per ogni grado del termometro centigrado, per le temperature comprese fra zero e cento.

Sulla nozione della dilatazione apparente del vetro è fondato il *termometro a peso*, già da noi indicato, perchè dal peso del mercurio uscito da questo strumento si può dedurre la temperatura a cui è stato portato. Infatti l'esperimento sopra esposto avendoci portato alla formola $\frac{P}{(P-p)t} = \frac{1}{5550}$, è facile dalla medesima ricavare il valore di t , quando si conoscano quelli di P e p . Difatto si ha $t = \frac{p \times 6480}{P - p}$.

Conoscendo poi la dilatazione assoluta del mercurio, si giunge facilmente a ridurre alla temperatura costante di 0°, tutte le altezze barometriche osservate a qualsiasi temperatura, a fine di renderle fra loro comparabili. Questa riduzione si fa col calcolo seguente. L'altezza barometrica a t° sia H , e sia h l'altezza a 0°. Poichè il coefficiente di dilatazione assoluta del mercurio per ogni grado è $\frac{1}{5550}$, è evidente che sarà $H = h + \frac{1}{5550} \times ht$ ossia

$$H = h \left(1 + \frac{t}{5550} \right) = h \left(\frac{5550 + t}{5550} \right),$$

$$\text{da cui } h = \frac{5550 \times H}{5550 + t}.$$

Differente dilatabilità dei liquidi. — I fisici si sono occupati a determinare il coefficiente di dilatazione assoluta dei varj liquidi, e a ricercare se questo coefficiente rimaneva lo stesso per uno stesso liquido a tutte le temperature, o, in altri termini, se la loro dilatazione era uniforme. Il risultato generale di queste ricerche si è che la dilatazione dei diversi liquidi è varia, e neanche si opera uniformemente in ciascuno di essi, perocchè allorquando sono prossimi a quelle temperature che corrispondono al loro cambiamento di stato, cioè alla loro ebullizione e congelazione, le loro dilatazioni e contrazioni vanno soggette a grandi anomalie. Ordinariamente si

osserva che avvicinandosi alla temperatura a cui si convertono in vapore, le loro dilatazioni crescono più rapidamente.

La non uniformità della dilatazione dei varj liquidi, è facile a stabilirsi confrontando le dilatazioni che avvengono in diversi termometri costruiti con liquidi differenti ed egualmente graduati. Questi istrumenti esposti a una data temperatura dovrebbero in tutti i casi trovarsi d'accordo, qualora le colonne liquide si dilatassero tutte uniformemente. L'esperienza invece dimostra che ciò non accade. Ecco i numeri determinati da Davy confrontando dei termometri a mercurio, ad alcool, a olio, ad acqua, e ad acqua salata.

Mercurio	Alcool	Olio	Acqua	Acqua salata
100°	100°	100°	100°	100°
75°	70°,25	74°,1	57°,25	71°,37
50°	43°	49°	25°,6	45°,37
25°	20°,6	24°,1	5°,1	21°,6
0°	0°	0°	0°	0°

La semplice ispezione di questo quadro mostra come i diversi liquidi si dilatino irregolarmente, e come si dilatino più uniformemente quelli che bollono ad una temperatura molto alta. Si cadrebbe perciò in un grande errore adoptingo indifferentemente un liquido qualunque per costruire il termometro.

L'acqua nella sua dilatazione presenta un fenomeno curioso, che la distingue dagli altri liquidi. Allorchè la temperatura di un dato volume di questo liquido si abbassa da 100° a 4°, il suo volume diminuisce, e quindi la sua densità aumenta; ma se la temperatura continua ad abbassarsi da 4° verso 0°, la sua densità invece diminuisce; ed avviene che nel raffreddarsi maggiormente si dilata. Alla temperatura di + 4° adunque l'acqua è al suo *massimo di densità*. È assai facile determinare coll'esperienza questo massimo di densità. Ricordiamoci che un liquido perde una porzione del suo peso eguale al peso del liquido spostato, e che perciò questa perdita di peso varia colla densità del liquido. Supponiamo di pesare un corpo di un volume determinato, tenendolo immerso nell'acqua a diverse temperature; è certo che la temperatura del massimo di

densità sarà quella dell'acqua in cui è maggiore la perdita del peso fatta dal corpo immerso. Hallstrom ha con molte osservazioni determinato che questo massimo di densità dell'acqua è esattamente a 4° , 108, e che ad 8° una data massa di acqua occupa sensibilmente lo stesso volume che a zero. In conseguenza del massimo di densità dell'acqua a $+4^{\circ}$, avviene che quando si espone alla temperatura di zero una massa di questo liquido, mentre lo strato inferiore di essa segna $+4$, i superiori segnano $+3$, $+2$, $+1$ ed anche zero, ed il liquido comincia a congelarsi alla superficie. Questo è ciò che si osserva nei grandi laghi, ove il fondo ha costantemente nell'inverno una temperatura di circa $+4^{\circ}$, mentre la superficie è gelata. Appena le acque stagnanti cominciano a risentire gli effetti dell'abbassamento della temperatura, il liquido della superficie è il primo a raffreddarsi, e quindi a farsi più denso; perciò scende al fondo finchè non giunge a $+4^{\circ}$. Lo strato che gli succede alla superficie subisce gli stessi cambiamenti; e così, di strato in strato, la massa liquida si trova portata interamente alla temperatura di $+4^{\circ}$ e quindi alla stessa densità. Proseguendo allora il raffreddamento, lo strato superficiale che è il primo a risentirlo, non discende più, perchè si fa più leggero, e rimane al suo posto anche alla temperatura di 0° , alla quale comincia a congelarsi. Nelle acque correnti questo fenomeno non si osserva, perchè i diversi strati si mescolano continuamente per il moto della corrente. Ermann, cercando di scoprire se nelle soluzioni di sal marino vi era lo stesso massimo di densità che nell'acqua pura, trovò che la presenza di questo sale tende ad abbassare verso zero la temperatura del massimo di densità, e che questo massimo non esiste più in una soluzione molto carica di sal marino. Le esperienze di Despretz hanno stabilito che tutte le soluzioni saline posseggono un massimo di densità, di cui la temperatura è tanto più prossima a quella della loro congelazione quanto più grande è la quantità di sale che vi è disciolta.

Misura della dilatazione dell'aria e dei gas. — I gas si dilatano assai più dei solidi e dei liquidi; non di meno è stato assai difficile determinare il loro coefficiente di dilatazione, a motivo di una causa di errore che molto facilmente s'incontra

che in generale i soli gas semplici hanno esattamente lo stesso coefficiente di dilatazione.

Resulta dall'estrema dilatabilità dei fluidi aeriformi, che allorquando si vuol calcolare in un modo esatto il peso di un certo volume di gas, è essenziale di tener conto della sua temperatura. S'intende infatti che la densità di un dato volume di gas, e conseguentemente il suo peso, debbono essere tanto più piccoli, quanto più alta è la temperatura di esso. I fisici per avere un dato costante hanno stabilito il grado di zero per temperatura fissa e normale, ed è a questa temperatura che hanno convenuto di ridurre il volume di un gas qualunque di cui si debba determinare il peso e la densità. Chiamando per esempio V il volume di questo gas, e supposta a 10° la sua temperatura, dovremo cercare qual sarà il volume V' di questo gas alla temperatura di 0° . Prendendo per base il risultato di Gay-Lussac, potremo stabilire l'equazione seguente

$$V = V' + 0,0375 \times V', \text{ ossia}$$

$$V = V' (1 + 0,0375), \text{ da cui}$$

$$V' = \frac{V}{1,0375}.$$

La formula generale di questa riduzione, chiamando t la temperatura, sarà

$$V' = \frac{V}{1 + 0,00375 t}$$

Termometro ad aria. Poichè l'aria ed i gas si dilatano assai più uniformemente dei liquidi, si pensò di costruire dei termometri ad aria o a gas onde ottenere con maggiore esattezza le indicazioni delle temperature. Il più semplice dei termometri ad aria consiste in un tubo simile a quello che abbiamo descritto per la determinazione delle leggi della dilatazione dei gas, ed in cui s'introduce dell'aria bene asciutta. Basta perciò di avere un tubo di vetro ben graduato con un recipiente ad una estremità, e le cui divisioni sieno in un rapporto ben determinato colla capacità del recipiente. Per graduarlo si porta a zero la temperatura del termometro, e

si rappresenta con 273 il volume che occupa a questa temperatura l'aria contenuta nel termometro. Il volume dell'aria partendo da 0° , diverrà successivamente 274, 275, 276 ec. per l'aumento di 1° , 2° , 3° ec. e quando sarà raddoppiato, la temperatura sarà di 273° . È in una parola un termometro di cui lo zero è segnato a 273.

Onde applicare il termometro ad aria alla misura delle alte temperature, si fa il bulbo d'una sostanza infusibile, come sarebbe il platino. Si ottiene allora un *Pirometro ad aria*. Nei Pirometri ad aria di Pouillet e di Regnault l'indice non consiste in una goccia di mercurio, come nell'apparecchio di Gay-Lussac, ma si vvero in una colonna di quel liquido. Il recipiente dell'aria è di platino, e comunica per mezzo di un lungo tubo *ab* dello stesso metallo (*Fig. 184, Tav. VI*) con un tubo verticale di vetro *d*, diviso in parti di capacità eguale, ed avente un'altezza maggiore della colonna barometrica. Questo è a sua volta in comunicazione con un secondo tubo di vetro *n*, che gli è parallelo, mediante un'armatura di ferro munita del robinetto *r*. I due tubi sono pieni di mercurio fino ad un certo livello. Il serbatoio di platino, il suo tubo di comunicazione e la parte superiore del tubo *d* sono pieni di aria secca, di cui si conosce il volume alla temperatura di 0° . Inalzando la temperatura dell'aria contenuta nel recipiente di platino, essa dilatasi, penetra nel tubo graduato *d*, preme sulla colonna di mercurio del medesimo, e la costringe ad abbassarsi. Affinchè la forza elastica di quest'aria si mantenga eguale alla pressione atmosferica del momento, si apre il robinetto *r* per fare scolare del mercurio e così mantenere le due colonne allo stesso livello. Ad un certo determinato punto si potrà misurare il volume dell'aria dilatata sopraggiunta nel tubo. Conoscendo il volume primitivo dell'aria a zero, si ha la dilatazione subita, dividendo pel medesimo il volume dell'aria sopraggiunta nel tubo graduato. Dividendo il quoziente per $\frac{1}{273}$, ossia moltiplicandolo per 273, si ottiene la temperatura cui fu esposta l'aria medesima. Così se la dilatazione fosse espressa da $\frac{1}{4}$, la temperatura sarebbe eguale a $136^\circ,5$; se da 2 sarebbe di 546° , e così di seguito. Con questo metodo il Pouillet ha determinato in

slotanto che una piccolissima goccia di mercurio che serve a separare il gas interno dall'aria atmosferica, e fa l'ufficio d'indice. Quando il tubo non contien altro che del gas secco e questa goccia di mercurio, si porta l'apparecchio in bagni di differenti temperature, e si osservano le dilatazioni dai movimenti dell' indice di mercurio. A quest' uopo Gay-Lussac adoprava una cassa di latta *MNPQ* piena di acqua (*Fig. 183, Tav. VI*), di cui s'inalzava a piacere la temperatura per mezzo di un fornello sottoposto. Nella parte superiore di questa cassa trovansi tre tubulature: le due estreme *E* ed *F* sono destinate a lasciare sviluppare il vapore che formasi nella cassa; quella di mezzo riceve un termometro, il cui serbatojo è immerso nel bagno. Infine le due facce laterali opposte sono guarnite ciascuna di una tubulatura; ed è per mezzo di una di queste che s'introduce in una posizione orizzontale il tubo contenente il gas che si vuol sottoporre all'osservazione. L'altra riceve pure orizzontalmente un termometro, il quale essendo immerso nello stesso strato liquido del tubo contenente il gas, indica ad ogn' istante la temperatura alla quale è sottoposto. I tubi entrano a sfregamento nei tappi forati, onde poterli estrarre a volontà per riconoscere la posizione dell'estremità della colonna del mercurio nel termometro e quella dell'indice nel tubo contenente il gas. L'esperimento si comincia dall'empire di ghiaccio in fusione la cassa di latta, e determinando sul tubo la divisione alla quale l'indice si arresta. Essendo conosciuta la capacità della bolla in gradi del tubo, si deduce da questa prima osservazione il volume occupato dal gas alla temperatura di zero. Allora scaldando l'acqua della cassa per mezzo del fornello su cui posa, e determinando le varie temperature per mezzo dei due termometri a mercurio che vi sono immersi, si può facilmente stabilire l'aumento di volume che subisce il gas leggendo i gradi segnati dall'indice. Non v'è che una precauzione da aversi in queste esperienze, ed è quella di osservare il barometro, e di assicurarsi che la pressione atmosferica non abbia cambiato nel tempo della osservazione. Se ciò fosse accaduto, il volume del gas avrebbe variato indipendentemente dalla temperatura. Se si suppone costante questa pressione, e se si trascura la variazione di capacità del re-

gradi centigradi le diverse temperature corrispondenti ai diversi colori che prendono l'oro, il platino, l'argento e gli altri metalli inalterabili, quando si scaldano in un forno o al fuoco di fucina. Ecco il quadro di questi risultati.

Colori	Temperature corrispondenti
Rosso nascente.....	525°
Rosso scuro.....	700°
Ciliegia nascente.....	800°
Ciliegia.....	900°
Ciliegia chiaro.....	1000°
Arancione cupo.....	1100°
Arancione chiaro.....	1200°
Bianco.....	1300°
Bianco splendentissimo.....	1500° a 1600°

Quest' ultima è la più alta temperatura del fuoco di fucina.

Confronto del termometro ad aria col termometro a mercurio. Regnault, da osservazioni accuratissime, concluse che il termometro ad aria si accorda presso a poco esattamente col termometro a mercurio fra 0° e 250°; oltre questo punto il termometro a mercurio va innanzi al termometro ad aria; a 300° la differenza è di 1°, a 325° è di 1°. 75; infine a 330° è di circa 3°. Secondo Regnault due termometri ad aria saranno sempre comparabili, qualunque sia la natura del vetro del loro invoglio, imperocchè la dilatazione del vetro è sì piccola, rispetto a quella dell'aria, da potersi trascurare; lo che non accade nei termometri a mercurio, nei quali la dilatazione del vetro è apprezzabilissima rispetto a quella del mercurio, per cui per render paragonabili due termometri a mercurio conviene formarli con invogli di vetro della stessa natura, o che seguano almeno le stesse leggi di dilatazione. Bisognerà adunque nelle esperienze di massima precisione osservare direttamente le alte temperature sul termometro ad aria a preferenza di qualunque altro termometro.

Movimenti dell'aria prodotti dal calore. Abbiamo visto che quando s'inalza la temperatura dell'aria, questa dilatasi, e quindi sotto lo stesso volume diviene meno pesante. Sappiamo inoltre che ogni qual volta un corpo è immerso in un fluido liquido

o gassoso tende a discendere con una forza eguale al suo peso e a salire con una forza eguale al peso del fluido spostato: conseguentemente quando per una causa qualunque una porzione di aria trovasi riscaldata, essa tende a inalzarsi con una forza eguale alla differenza tra il peso del volume d'aria fredda di cui occupa il posto ed il suo proprio peso. Se l'aria calda è libera, l'aria circondante la raffredderà continuamente; la resistenza che subirà la dividerà, e bentosto sarà raffreddata e disseminata, come accade all'aria che esce dai cammini. Esaminiamo adesso ciò che accadrà in un canale contenente dell'aria calda. Sia *AB* (*Fig. 185, Tav. VI*) un canale cilindrico verticale, aperto alle due estremità, e supponiamo che l'aria esterna introducendosi dalla parte inferiore vi prenda una temperatura costante che supporremo di 100° , essendo a 0° la temperatura esterna: potrebbesi facilmente soddisfare a questa condizione situando inferiormente una lastra di ghisa scaldata al di sotto, e al di sopra della lastra un orifizio laterale che desse accesso all'aria esterna. È evidente che quando il canale *AB* sarà pieno di aria calda, la forza colla quale essa tenderà ad inalzarsi sarà eguale alla differenza dei pesi di due colonne d'aria aventi per altezza *AB*, una delle quali fosse alla temperatura di 0° e l'altra a 100° . Perciò la pressione sarebbe la stessa di quella che si manifesterebbe in un sifone rovesciato (*Fig. 186, Tav. VI*) i cui due bracci, di un'altezza *AB*, fossero riempiti l'uno di un liquido avente una densità eguale a quella dell'aria a 0° , e l'altro di un liquido della densità stessa dell'aria a 100° . La pressione sarebbe pure la stessa di quella che avrebbe luogo nel sifone, il cui braccio *CD* (*Fig. 187, Tav. VI*) fosse più lungo del braccio *AB* di tutta la dilatazione dell'aria da 0° a 100° , e i cui bracci fossero riempiti di uno stesso liquido della densità dell'aria a 100° . Ma in quest'ultimo caso la pressione è eguale evidentemente al peso della colonna *CD*; dunque una colonna d'aria calda contenuta in un canale verticale tende ad inalzarsi con una forza eguale al peso di una colonna d'aria calda alla stessa temperatura, la cui lunghezza è eguale alla dilatazione che proverebbe una colonna d'aria fredda della stessa lunghezza, passando dalla temperatura ambiente a quella del canale. Dopo ciò se si con-

sidera l'efflusso dell'aria come se si effettuasse nella stessa guisa di quello di un liquido della stessa densità sottoposto alla stessa pressione, risulta da ciò che precede che la velocità ascensionale sarà eguale allo spazio che un corpo percorrerebbe cadendo da un'altezza eguale alla dilatazione che subisce una colonna d'aria fredda della stessa lunghezza del canale, passando dalla temperatura esterna alla temperatura interna. Per esempio, l'aria esterna essendo a 0° , l'aria interna a 100° , ed il canale avendo 50 metri di altezza, la dilatazione che proverebbe una colonna d'aria di 50 metri passando da 0° a 100° sarebbe $50^m \times 100 \times 0,00375 = 18^m, 75$; ora un corpo che cadesse da quella altezza acquisterebbe alla fine della sua caduta una velocità di $19^m, 18$ per secondo; questa sarebbe adunque la velocità colla quale l'aria uscirebbe dal canale. Ma noi dobbiamo osservare che la velocità così calcolata è molto più grande di quella che risulta dall'esperienza, a motivo dell'attrito contro le pareti del canale. Si può concludere da ciò che precede, che la condizione essenziale della buona aspirazione di un cammino consiste nel libero afflusso dell'aria fredda, con tutta l'esterna pressione, e che l'aspirazione si farà tanto più grande, quanto più alto sarà il cammino, e quanto maggiore sarà la temperatura.

Ventilazioni fondate sopra le correnti d'aria prodotte dal disequilibrio di temperatura. La maggior parte dei ventilatori sono fondati sul disequilibrio statico dell'aria prodotto dal riscaldamento. Nelle sentine dei bastimenti l'aria si corrompe bentosto, e fa d'uopo rinnovarla spesso. Il mezzo più efficace per raggiungere questo intento è il seguente. Il focolare della nave, situato nella parte superiore del bastimento, è fatto di lamiera e si congiunge con una cassa fatta pure di lastre metalliche; dalla quale partono inferiormente parecchi tubi aspiratori, che si diramano e si prolungano fin verso il fondo della nave, e dalla sua parte superiore s'inalza un canale d'evacuazione che termina all'aria libera. Acceso il fuoco, l'aria nella cassa si riscalda, diminuisce di densità e si eleva pel canale sboccando nell'atmosfera. Questo inalzamento dell'aria determina una corrente nei tubi aspiratori, per la quale s'entra nuova aria nella cassa, che si riscalda a sua volta,

ascende ed esce pel canale di sgorge. Intanto nelle parti inferiori del bastimento l'aria aspirata è rimpiazzata da nuova aria, che vi si precipita dall'esterno. Negli ordinarj cammini e nelle stufe si genera una corrente d'aria, che col fumo ascende per la canna, promuovendo una ventilazione nella stanza. Nei fornelli delle caldaje a vapore si promuove l'affluenza dell'aria per la loro bocca ad avvivare il fuoco, elevando alla maggiore altezza possibile il condotto del fumo. Per la stessa ragione si promuove l'aspirazione dell'aria nei fornelli portatili, coprendoli con una specie di cupola di lamiera di ferro sormontata da un lungo tubo.

Negli ospedali, nei teatri, nelle miniere ed in molte officine si promuove la ventilazione secondo il medesimo principio. L'aria riscaldata nell'ambiente per le molte persone che vi si trovano, si eleva verso il soffitto, e quella meno calda si dispone verso il pavimento. Si praticano perciò alcuni fori verso l'alto della stanza ed alcuni altri presso il pavimento, e questi si fanno comunicare coll'aria aperta. L'aria nell'elevarsi verso il soffitto fugge dai pertugj superiori, e promuove l'introduzione di una corrente di nuova aria nella stanza pei fori posti inferiormente. La *ventola a molinello*, che in alcuni luoghi si applica alla parte superiore del telajo delle vetrare, per promuovere la ventilazione, fa le veci dei fori superiori; mentre dalle fessiture inferiori degli usci o delle finestre entra l'aria dal di fuori.

2.° *Del cambiamento di stato dei corpi pel calore.*

Della fusione. Dicesi fusione il passaggio dei corpi dallo stato solido allo stato liquido. È facile accorgersi che questo fenomeno è prodotto dal calore, e che nessun'altra causa in natura può determinare i corpi a questo cambiamento. Il ghiaccio può essere spezzato e ridotto in polvere, può esser sottoposto a tutte le potenze meccaniche e a tutti gli agenti naturali, senza cessare di essere un corpo solido, a meno che il calore non venga ad esercitare su di esso la sua azione per convertirlo in acqua. Lo stesso accade alla cera; e quando la vediamo fondersi ai raggi del sole, ci accorgiamo bene che

ciò accade per l'effetto del calore e non per quello della luce. E se il piombo può liquefarsi e colare quando si batte a colpi raddoppiati su di un'incudine, ciò dipende perchè nella percussione si sviluppa del calorico nel modo stesso che nella combustione. Perciò lo stato di solidità o di fluidità di un corpo è uno stato relativo, dipendente unicamente dalla temperatura alla quale questo corpo è sottoposto. Ad un'altra distanza dal sole, la terra prenderebbe un'altra consistenza ed un altro aspetto: se ne fosse più vicina, la maggior parte dei metalli sarebbero allo stato di fusione, e la profondità dei mari invece di esser riempita di acqua potrebbe benissimo esserlo di sostanze metalliche liquefatte: al contrario, se essa fosse più lontana, il mare sarebbe una massa solida, non vi sarebbero acque correnti e probabilmente più alcun liquido in circolazione per produrre i fenomeni organici della vegetazione e della vita.

Il calore penetra e dilata tutti i corpi, ma è desso capace di farli tutti senza eccezione passare dallo stato solido al liquido? Esaminando sotto questo rapporto i varj corpi, vedonsi fra loro delle grandissime differenze: ve ne sono alcuni fusibilissimi, come il mercurio, il quale non può esistere allo stato solido che nelle regioni più settentrionali del globo, e si fonde a 39°; altri, quali sono il ghiaccio, la cera, il sevo, il fosforo ec., non possono sostenere che delle temperature assai basse; ve ne sono altri che esigono per fondersi delle temperature un po' più alte, come lo stagno, il piombo, ed alcune leghe metalliche; infine ve ne sono alcuni che non possono entrare in fusione che alle più alte temperature, come l'acciajo, il ferro, ed il platino. I corpi che resistono al fuoco di fucina, che è capace di fondere il ferro e l'acciajo, son detti *infusibili, fissi o refrattarj*; ma poichè i nostri mezzi di produrre calore si perfezionano ogni giorno più, il numero delle sostanze fisse va continuamente diminuendo. Questi corpi sono suscettibili di liquefazione mediante dei processi chimici. Così la calce, il quarzo ed altre materie, giudicate per lungo tempo affatto refrattarie, si sono potute fondere per mezzo della fiamma del gas ossidrogeno. Il carbone sembrava essere il più refrattario di tutti i corpi; non di meno, Despretz in

questi ultimi tempi è giunto a fonderlo per mezzo di un'altissima temperatura prodotta dal concorso delle tre principali sorgenti del calorico, cioè il calor solare, la combustione e l'elettricità. Vi sono non di meno certi corpi solidi, come gli organici, i quali non possono fondersi: ciò dipende dalla decomposizione che subiscono, in grazia del calore, prima di esser giunti alla temperatura della loro fusione; ma è certo che se potessero mettersi in circostanze tali da non scomporsi pel calore, si giungerebbe a fonderli.

Condizioni della fusione. Quando i corpi passano dallo stato solido allo stato liquido, presentano due fenomeni rimarchevolissimi: in primo luogo essi restano solidi finchè non son giunti ad una certa temperatura *fissa*, che è sempre la stessa per lo stesso corpo; ed è allora soltanto che la fusione comincia; in secondo luogo essi rimangono alla stessa temperatura durante tutto il tempo della fusione, qualunque sia la quantità di calorico che si può loro fornire; onde segue che essi assorbono questo calorico per fondersi, e lo nascondono nel loro interno senza lasciarlo apparire all'esterno; quindi questo calorico vien detto *latente*. Perciò *la costanza della temperatura, e l'assorbimento del calorico latente* sono le due condizioni immancabili della fusione.

Questi fenomeni possono esser facilmente costatati sui corpi che si fondono a delle temperature accessibili al termometro a mercurio. Si prenda del fosforo, si ponga in un recipiente pieno di acqua, e si riscaldi dopo avervi immerso un termometro: si osserverà in qualunque circostanza che questo corpo comincerà a fondersi quando il termometro segnerà 43° . Se invece si prendesse dello zolfo e si ponesse sul fuoco entro un piccolo crogiuolo di terra, si osserverebbe costantemente che il suo punto di fusione è a 110° . Un'esperienza che prova ad evidenza l'assorbimento di una certa quantità di calorico nella fusione, e il suo rendersi latente è la seguente. Si prendano due palloni di vetro eguali di peso e di volume; si ponga nell'uno un peso determinato di ghiaccio a zero, e nell'altro un egual peso d'acqua pure a zero; si dispongano i due palloni in una stufa e si segua attentamente la temperatura del pallone primitivamente pieno di acqua; si vedrà che nel momento che quest'acqua

sarà a 75° , il ghiaccio dell'altro pallone sarà totalmente fuso, senza che però la sua temperatura sia sensibilmente cambiata. Siccome i due palloni sono posti nelle stesse circostanze, devono ricevere lo stesso calore nel medesimo tempo; risulta da ciò che un dato peso di ghiaccio esige per passare allo stato liquido una quantità di calore capace d'innalzare un peso eguale d'acqua da 0° a 75° . Adunque in un corpo che si fonde la temperatura riman sempre la stessa finchè v'è una porzione del corpo non anche fuso. Appena tutto il corpo si è ridotto allo stato liquido, allora la temperatura comincia ad innalzarsi. Si conserva perciò il nome di *calorico sensibile* a quello che fa variare la temperatura di un corpo, che si misura col termometro e che agisce sui nostri sensi.

Si può facilmente determinare qual'è la quantità di calore che viene assorbita nella fusione del ghiaccio, o per meglio dire possiamo determinare qual sarebbe l'innalzamento di temperatura prodotto dal calorico reso latente dalla fusione del ghiaccio. Difatti, per ciò che abbiamo detto poc'anzi, se si prende una libbra di ghiaccio a 0° e si mescola con una libbra di acqua a 75° , dopo poco il ghiaccio sarà totalmente fuso, ed il miscuglio avrà la temperatura di zero. Questi 75 gradi misurano adunque il calorico latente assorbito dal ghiaccio per fondersi; perchè se invece di una libbra di ghiaccio si fosse presa una libbra di acqua a zero, la temperatura del miscuglio si sarebbe ridotta a $37^{\circ}, 5$, poichè la temperatura di due eguali masse di acqua mescolate sarà sempre la metà della somma delle loro temperature. Si giunge alla stessa determinazione anco senza impiegare masse eguali di ghiaccio e di acqua, e qualunque sia la temperatura di quest'ultima, purchè sufficiente a fondere tutto il ghiaccio. Infatti si rappresenti con M la massa del ghiaccio a 0° , e con m il peso dell'acqua calda a t° . Si getti il ghiaccio nell'acqua calda; si misuri la temperatura del miscuglio, non appena la fusione è compiuta, e si rappresenti con α questa temperatura. È chiaro che l'acqua raffreddata da t° ad α , ha ceduto una quantità di calorico che deve rappresentarsi col prodotto della sua massa per la temperatura perduta, e che perciò è eguale ad $m(t - \alpha)$. Il

ghiaccio poi, ove si rappresenti con x il suo calorico di fusione, ha assorbito per fondersi una quantità di calorico eguale ad Mx , e poichè in seguito alla fusione, si è riscaldato da 0° ad α , esso ha di più assorbito una quantità di calorico espressa da $M\alpha$. È evidente che la quantità di calorico perduta dall'acqua calda è eguale a quella assorbita dal ghiaccio; perciò potremo stabilire l'equazione

$$Mx + M\alpha = m(t - \alpha)$$

$$\text{da cui si ha } x = \frac{m(t - \alpha) - M\alpha}{M}$$

Ultimamente i signori De la Prevostaye e Desains hanno trovato, con ricerche esatissime, confermate da Regnault, che il vero numero di gradi esprimente il calorico di fusione del ghiaccio era 79,25.

L'affinità chimica è non di meno una causa che può far cangiare il punto di fusione dei corpi, senza che perciò manchi l'assorbimento del calorico; così per esempio ponendo della neve o del ghiaccio pesto in contatto con del sal marino, il ghiaccio si fonde per l'affinità dell'acqua col sale, e poichè non v'è una sorgente che comunichi il calore necessario al cambiamento di stato, desso vien tolto ai corpi medesimi che si sono mescolati e a quelli circondanti, e la temperatura si abbassa e scende molti gradi al di sotto di zero. Questo è il principio della formazione dei *miscugli frigorifici*. Il limite dell'abbassamento di temperatura che può prodursi con un tal mezzo è determinato dalla temperatura alla quale cessa l'affinità dell'acqua per il sale; ciò avviene appunto alla temperatura di 18° a 20° sotto zero, ed è per questa cagione che col miscuglio frigorifico di ghiaccio e sal marino non si può mai ottenere una temperatura più bassa di quella. Se ciò non fosse basterebbe raffreddare il ghiaccio ponendolo a contatto di un primo miscuglio frigorifico, poi mescolare il sale a questo ghiaccio così raffreddato. Il secondo miscuglio avrebbe così una temperatura più bassa del primo, e non vi sarebbe mai limite di raffreddamento. I corpi detti *fondenti* adoprate nelle arti, come per esempio nella fusione dei metalli, nella fabbricazione del vetro ec. non sono altro che corpi aventi la proprietà di

accelerare la fusione delle materie con cui sono mescolati, combinandovisi e dando luogo a combinazioni più fusibili delle sostanze primitive.

Solidificazione. Nel ritorno dei corpi dallo stato liquido al solido si verificano due condizioni che corrispondono a quelle della fusione. Il corpo si fa solido ad una temperatura fissa, che è quella stessa alla quale si fonde, e intanto tutto il calorico latente che è stato assorbito nella fusione si fa libero nella solidificazione. Basta un termometro a dimostrare il primo di questi fatti. Si prenda infatti del sevo fuso, la temperatura del quale sia molto più alta di quella del suo punto di fusione che è a $33^{\circ}, 3$, vi s'immerga un termometro e si lasci raffreddare; si vedrà che appena comincerà a solidificarsi, il termometro segnerà $33^{\circ}, 3$. Il secondo fatto si può dimostrare nel modo seguente. Si prende un tubo lungo 5 a 6 pollici e del diametro di $\frac{3}{4}$ di pollice, pieno di una soluzione di solfato di soda saturata alla temperatura di 30° a 40° , e chiuso dopo l'ebullizione di una porzione del liquido. Questa soluzione può essere agitata senza che cristallizzi, ma se si rompe l'estremità affilata del tubo, all'istante medesimo essa rap- pigliasi in massa, e sviluppa tanto calore da rendersi sensibile al tatto. Nella stessa guisa l'acqua nel momento della sua congelazione abbandona tutto il calore che esige il ghiaccio per divenir liquido, e questo continuo svolgimento di calore durante la congelazione dell'acqua fa sì che una massa di varj chilogrammi di questo liquido non si solidifichi che dopo essere stata per molto tempo esposta ad un freddo molto vivo. Parimente è a questa cagione che devesi attribuire il sensibile innalzamento di temperatura che accompagna la caduta della neve.

L'acqua nel congelarsi presenta un fenomeno rimarchevole; voglio dire un considerevole aumento di volume. Già dicemmo che la densità dell'acqua diminuisce nell'abbassare la sua temperatura da 4 a 0° ; questa diminuzione di densità persiste nel suo passaggio allo stato solido. È per questo che l'acqua che si congela in un recipiente chiuso produce una forte pressione contro le pareti di questo vaso. La forza che l'acqua sviluppa in questo caso è evidentemente eguale alla

grandissima pressione che bisognerebbe esercitare sopra il ghiaccio per diminuire il suo volume in guisa da fargli riprendere quello dell'acqua a zero. Gli Accademici del Cimento videro rompere grosse pareti di recipienti chiusi in cui avean posto dell'acqua a gelare. Il Maggior Williams empl di acqua una bomba di un piede di diametro, la chiuse esattamente con un turacciolo di legno introdotto a colpi di martello, e la espose ad una temperatura inferiore allo zero. Quando l'acqua cominciò a congelarsi il turacciolo fu lanciato con forte esplosione ad una distanza di oltre 400 piedi, e sortì dalla bomba un grosso pezzo di ghiaccio. Alla congelazione dell'acqua che penetra nelle fibre vegetabili è dovuto lo schiantarsi degli alberi, e la morte delle piante erbacee nell'inverno. Anche certe pietre, non solo romponsi nell'inverno, ma riduconsi in polvere. Queste pietre diconsi *diacciuole*; ma è facile riconoscerle con un metodo proposto dal Berard, consistente nell'imbeverle di una soluzione satura di solfato di soda, la quale nel cristallizzare produce lo stesso effetto dell'acqua che si gela. Oltre l'acqua anche la ghisa ed il bismuto aumentano di volume nel solidificarsi. Quando si lascia lentamente raffreddare del bismuto fuso, nella solidificazione sorge dalla massa una specie di fungo.

L'acqua presenta anche il singolar fenomeno di poter congelarsi a temperature inferiori a 0° . Basta prender dell'acqua perfettamente privata di aria per mezzo di recente ebullizione, ed esporla al freddo continuato di un miscuglio frigorifico senza agitarla minimamente. Vedesi allora il termometro immerso abbassarsi fino a 6° e spesso perfino a 12° sotto zero, mentre essa rimane tuttora liquida. Basta però la più piccola agitazione, il più leggiero movimento prodotto dalla caduta nel liquido di un corpicciuolo solido perché nell'istante la massa si faccia solida ed il termometro s'inalzi fino a 0° . L'esperienza riesce anche meglio, cuoprendo l'acqua di un leggiero strato di olio, ovvero se è racchiusa in un tubo contenente dell'aria molto rarefatta. Il fenomeno descritto non è facile a spiegarsi in tutte le sue parti. Difficilmente s'intende come le molecole dell'acqua, in conseguenza della quiete o della poca pressione, sopportino un raffreddamento più forte di 0° ,

senza unirsi in guisa da costituire un solido, come nelle ordinarie circostanze. Potrebbe forse dirsi che a vincere l'inerzia delle molecole medesime sia necessario un qualche movimento vibratorio, che agitando inegualmente il liquido, le ravvicini inegualmente in modo da stabilire dei centri di solidificazione. In quanto alla solidificazione istantanea di tutta la massa, essa avviene perchè il calorico latente fatto libero dalle prime parti dell'acqua che si congelano, non basta ad innalzare la temperatura delle altre ancor liquide al di sopra di zero, a motivo della temperatura molto bassa a cui erano scese.

*Quadro dei punti di fusione di varie sostanze fusibili
ben note.*

NOMI DELLE SOSTANZE	Gradi centesimali	NOMI DELLE SOSTANZE	Gradi centesimali
Mercurio	— 40	Lega di 2 piombo, 3 stagno e 5 bismuto	100
Olio di Trementina	— 40	Iodio	407
Ghiaccio	0	Zolfo	440
Sevo	+ 22,33	Stagno	230
Spermacei	45	Bismuto	262
Stearina	49	Piombo	340
Cera gialla	64	Zinco	360
Cera bianca	68	Antimonio	432
Acido stearico	68	Argento purissimo	1000
Fosforo	43	Oro purissimo	1250
Potassio	58	Ghisa bianca	4050
Sodio	90	Ghisa grigia	4100
Lega di 5 p. di piombo, 3 di stagno, 8 di bismuto	100	Acciajo	4350
		Ferro dolce	4500

Passaggio dallo stato liquido all'aeriforme. Allorquando un liquido è esposto all'aria accade ordinariamente che diminuisce a poco a poco di volume, e dopo un tempo più o meno lungo sparisce intieramente. Così l'acqua che cuopre la terra dopo le piogge non resiste al soffio di un vento secco e all'azione prolungata del sole; essa si dissipa a capo di qualche giorno, e ciò non solo perchè infiltrasi nel suolo, ma perchè si esala nell'aria. Ne abbiamo infatti la prova in ciò

che accade in un vaso pieno di acqua esposto all'aria libera ed anche in una stanza; l'acqua diminuisce di ora in ora, ed infine non restano nel fondo del vaso che i corpi estranei che teneva disciolti. Lo stesso fenomeno si produce con maggior rapidità quando si fa bollire un liquido per mezzo del fuoco; esso diminuisce a poco a poco e finisce per испарire. Da queste osservazioni si può concludere che per l'effetto del calore, sia alle ordinarie temperature, sia a quelle più elevate, i liquidi cambiano di stato, divengono aeriformi, cioè invisibili, e dotati di forza espansiva come i gas, il che si esprime dicendo che si *vaporizzano* o si riducono in *vapore*. Si dice che i liquidi sono tanto più *volatili* quanto più prontamente si evaporano o si volatilizzano. Per lungo tempo si è supposto che i vapori non potessero nè formarsi nè sussistere da sè, ma che avessero origine alla superficie dei liquidi per l'azione dissolvante dell'aria, e che la presenza dell'aria fosse anche necessaria per mantenerli sospesi nell'atmosfera. Per mostrare la falsità di questa opinione, il mezzo più semplice consiste nell'offrir loro uno spazio privo d'aria e di gas, nel quale possano svolgersi liberamente da sè stessi. Il vuoto barometrico è eminentemente adattato a questo genere di esperienze, non solo perchè è il più perfetto che si può produrre, ma perchè la colonna mobile del mercurio può indicare colla sua depressione l'energia della forza espansiva che esercitarsi su di essa. Per mezzo di una pipetta si faccia passare una piccolissima quantità d'acqua nel vuoto barometrico, tosto una porzione di quest'acqua passerà allo stato aeriforme, e ne saremo avvertiti dallo abbassamento che subirà la colonna barometrica in grazia della forza elastica del vapore acquoso. Se invece di acqua si fosse introdotto un liquido molto più volatile di essa, qual sarebbe l'etere, l'abbassamento della colonna sarebbe stato ancor più pronto e considerevole, attesa la subitanea evaporazione di questo liquido. Adunque la presenza dell'aria non è la cagione dell'evaporazione dei liquidi. La causa di questo cambiamento di stato dobbiamo riconoscerla invece nel calore. Difatti a misura che la temperatura s'innalza tale trasformazione si fa più rapida, e viceversa a misura che si diminuisce si fa più lenta. Sembra anzi che per

ogni liquido vi sia una temperatura tanto bassa alla quale esso cessi di convertirsi in vapore. Difatti Faraday ha osservato che una foglia d'oro tenuta a poca distanza dal mercurio in un recipiente chiuso, alla temperatura di 7° sotto zero, non si amalgama come fa all'ordinaria temperatura. Bellani ha parimente osservato che l'acido solforico non emette vapori alla ordinaria temperatura. Essendo il calore la cagione della formazione dei vapori, quando si sottrarrà loro del calore, o in altri termini quando si abbasserà la loro temperatura, dovranno necessariamente ripassare allo stato liquido. Ciò accade realmente; ed ognun sa che un corpo freddo si cuopre di gocce d'acqua esposto al vapore dell'acqua bollente, che i cristalli delle finestre delle nostre camere ben riscaldate si cuoprono pure di rugiada nell'inverno, quando la temperatura esterna è molto bassa.

Dell'ebullizione. La trasformazione dei liquidi in vapori dicesi *evaporazione* se accade soltanto alla loro superficie, e prende il nome di *ebullizione* se i vapori formansi nel seno stesso della massa liquida. L'evaporazione non è accompagnata da alcun movimento del liquido ed è invisibile; nella ebullizione invece tutte le parti della massa liquida sono agitate in ogni senso. Se si fa l'esperienza in un vaso di vetro si scorge la cagione di questi movimenti. Si vede che delle bolle di vapore si formano sulle pareti riscaldate del vaso, che s'innalzano in virtù della loro leggerezza, e vengono a scoppiare alla superficie: appena si formano sono piccole, ma aumentano di volume a misura che s'innalzano; e quelle che partono dai punti più caldi del vaso son quelle che si succedono colla maggior rapidità.

Un liquido qualunque sottoposto all'azione di una sorgente calorifica, si riscalda, cioè a dire la sua temperatura s'innalza, o se ne può giudicare per mezzo di un termometro immerso nel suo seno; ma appena comincia a bollire cessa di riscaldarsi, e la sua temperatura rimane stazionaria, per quanto si accresca il calore che gli si somministra. Coll'aumentare di questo, l'ebullizione si farà più rapida, ma la temperatura non s'innalzerà neanco di un grado. Questo fenomeno si verifica in tutti i liquidi, ma la loro ebullizione avviene bensì a temperature

diverse; l'alcool bolle ad una temperatura più bassa di quella dell'acqua, l'etere ad una anche più bassa di quella dell'alcool; ma in tutti accade che giunti all'ebullizione la temperatura rimane stazionaria. Accade adunque pei liquidi che bollono ciò che abbiamo visto accadere ai solidi giunti al punto della fusione: tutto il calore che si continua a comunicare dalla sorgente al liquido che bolle, è calore impiegato a formare il vapore, è calore reso *latente*. Il vapore che si forma ha la stessa temperatura del liquido che bolle; come il corpo che si fa liquido ha la stessa temperatura del corpo tuttora solido che si fonde. V'ha dunque assorbimento di calorico, e dovrà esservi necessariamente emissione di calorico, allorchè il vapore formato ritorna di nuovo allo stato liquido.

*Quadro del punto di ebullizione di varj liquidi
sotto l'ordinaria pressione.*

NOME DEI LIQUIDI	Gradi del Termometro centigrado
Acqua	100°
Etere solforico	37°,8
Solfuro di Carbono	47°,0
Alcool	79,7
Soluzione satura di Solfato di Soda	100,7
" di Acetato di Piombo	102,0
" di Cloruro di Sodio	106,9
" di Nitro	115,6
" di Cremor di Tartaro	110,7
" di Nitrato di Ammoniaca	125,3
" di Sottocarbonato di Potassa	140,0
Fosforo	290,0
Zolfo	299,0
Acido solforico	370,0
Olio di Lino	346,0
Mercurio	350,0
Essenza di Trementina	158,0

Cause che fanno cangiare il punto di ebullizione di un liquido. Le cause che fanno cangiare il punto di ebullizione di uno stesso liquido sono principalmente la pressione che sopporta e le sostanze che può tenere disciolte. Lo stato di coe-

sione del liquido e la natura del vaso che lo contiene esercitano pure qualche influenza, ma entro dei limiti molto ristretti.

1.^o *Influenza della pressione.* Al livello del mare, sotto la pressione ordinaria di 760^{mm}, l'acqua bolle a 100°: alla sommità degli alti monti essa bolle a temperature minori; così sulla cima del Monte Bianco, la cui altezza è di 4775 metri, e dove la pressione atmosferica è di 417^{mm}, l'acqua bolle a 84°. È dunque la pressione dell'aria che fa variare il punto della temperatura a cui l'acqua bolle. Ciò può anche provarsi colla esperienza seguente. Si riscaldi dell'acqua a 50°. A questa temperatura sotto l'ordinaria pressione non può certamente bollire, ma si porti sotto la macchina pneumatica, e vedremo che dopo pochi colpi di stantuffo l'acqua comincerà a bollire. L'acqua potrà bollire anche a delle temperature assai basse, quando la pressione sia convenientemente diminuita. Se s'introduce dell'acqua a pochi gradi sopra zero sotto la macchina pneumatica e si fa il vuoto, quando questo si è quasi interamente operato, l'acqua entra in ebullizione. Non si riesce mai nelle nostre macchine pneumatiche a far bollire l'acqua alla temperatura di zero, perchè non è possibile di scacciare e assorbire intieramente il vapore acquoso che si forma incessantemente alla superficie del liquido, e che vi esercita una certa pressione. L'apparecchio rappresentato dalla Figura 188, Tavola VI, mostra questo fenomeno in un modo anche più apparente. Consiste in un pallone a lungo collo chiuso da un tappo *b*. Questo pallone è pieno a metà di acqua; si pone in piena ebullizione, e quando tutta l'aria è scacciata si chiude col turacciolo *b*; in seguito si rovescia nella posizione che presenta la figura. Quando è abbandonato a sè stesso non si osserva più ebullizione sensibile, perchè la pressione del vapore la impedisce; ma se si versa sulla sua parte superiore dell'acqua fredda, allora l'ebullizione si manifesta istantaneamente con molta forza. L'acqua fredda fa bollire l'acqua del pallone, perchè condensa il vapore e diminuisce la pressione che esercitavasi sul liquido. Si può in questa guisa produrre un'ebullizione senza fuoco, che dura per delle

- ore intere. La variazione del punto di ebullizione è stata pure verificata con esperienze dirette sui punti più alti delle Alpi e dei Pirenei. L'acqua bollente non è adunque egualmente calda in tutti i luoghi della terra, e quindi non è egualmente propria agli usi domestici e alla preparazione degli alimenti. A Quito, per esempio, l'acqua bolle a 90° , e questa temperatura è troppo bassa per cuocere certe sostanze che possono esser colte a 100° .

Quando si aumenta la pressione invece di diminuirla, si ritarda l'ebullizione, e si può ritardare indefinitamente aumentando indefinitamente la pressione. È in questa guisa che nell'apparecchio conosciuto coi nomi di *pentola* e di *digestore di Papin* si può inalzare l'acqua alle più alte temperature senza farla bollire. Quest'apparecchio consiste in un recipiente *ABCD* cilindrico, di bronzo (*Tav. VI, Fig. 189*) o di ferro, le cui pareti sono capaci di una grande resistenza. Esso è fornito superiormente di un margine sul quale si applica un coperchio *M* premuto da una vite, di cui la madrevite è praticata in una mascella di ferro che è applicata colle sue estremità al di sotto dei margini *A* e *B* del recipiente. Il coperchio è fornito di una valvola di sicurezza *a*, sulla quale pongansi dei pesi, in modo da produrre una pressione di quaranta o cinquanta atmosfere, a seconda della resistenza delle pareti. L'ebullizione è impossibile, perchè il vapore che si forma al di sopra del liquido esercita una pressione che è sempre bastante per impedirla. Ma quando si apre la valvola, il vapore acquoso si slancia con tale impeto, che forma un getto di 8 a 10 piedi di altezza. Il digestore fu inventato da Papin verso la metà del diciassettesimo secolo; esso allora servì ad un gran numero di curiose esperienze, sia per mostrare la potenza meccanica del vapore, sia per mostrare la potenza dissolvente dell'acqua mantenuta liquida a delle temperature superiori a 100° . Oggi serve nei grandi spedali all'estrazione della gelatina dalle ossa. Se l'acqua non è ermeticamente rinchiusa in una caldaja, e se esiste qualche pertugio dal quale il vapore possa fuggire, il punto di ebullizione dipende allora dalla grandezza dell'apertura relativamente alla superficie

dell'acqua che riceve l'azione del fuoco. Ecco un quadro delle temperature approssimative che può prender l'acqua, in queste circostanze, sotto la pressione ordinaria.

Temperatura che prende l'acqua nella caldaja.	Rapporto fra la superficie dell'orifizio e la superficie dell'acqua che riceve l'azione del fuoco.
100°	1/1000 e al di sopra
103	1/1000 0
115	1/10000 0
138	1/10000 0

Quando un vaso, di una certa profondità, pieno di acqua è sottoposto colla sua parte inferiore all'azione di una sorgente calorifica, il liquido si scalda uniformemente fino alla temperatura della ebullizione, a motivo delle correnti che si producono per l'ascensione degli strati inferiori più caldi e più leggeri, e la discesa dei superiori più freddi e più pesanti, le quali repartiscono uniformemente la temperatura in tutta la massa. Nonostante l'ebullizione comincia a manifestarsi alla superficie, perchè il liquido della superficie non sopporta che la pressione dell'atmosfera, mentre gli strati inferiori sopportano anche il peso di tutti gli strati superiori. Da quell'istante la temperatura degli strati inferiori va aumentando fino ad un certo limite per ciascuno di essi; limite tanto più alto, quanto più profondo è lo strato. Così per esempio in una caldaja piena di acqua della profondità di 70 metri, gli strati del fondo sopportando una pressione di due atmosfere, si riscaldano fino alla temperatura dell'ebullizione dell'acqua sotto quella pressione, cioè a dire fino a 121°. Gli strati compresi fra i più superficiali che sono a 100°, e quelli del fondo a 121° hanno delle temperature comprese fra questi due limiti. Il liquido è allora in piena ebullizione in tutta la sua massa, ma i vapori che partono dal fondo e dai varj strati intermedj si dilatano nell'ascendere, a motivo della diminuita pressione, e si raffreddano nel traversare gli strati superiori, dimodochè escono dalla massa colla temperatura

di 100° sotto la pressione dell'atmosfera. Anche nei recipienti di qualche decimetro di altezza si produce un fenomeno simile prima che l'ebullizione cominci. Gli strati del fondo prendono alle pareti del vaso tanto calore da produrre del vapore; delle piccole bolle di vapore si formano e s'alzano, ma traversando gli strati superiori ancor freddi si condensano subito. Da ciò nasce quel singolar rumore che precede di qualche poco l'ebullizione dei liquidi. Ciò può osservarsi facilmente nei palloni di vetro, giacchè vedonsi le bolle formarsi, inalzarsi alquanto, e quindi intieramente sparire. Si dice allora che il liquido *canta*, e che non tarderà a bollire.

2.° *Influenza delle sostanze sciolte nel liquido.* Il punto di ebullizione di un liquido non è cambiato dalla presenza di corpi estranei meccanicamente sospesi nella sua massa, come per esempio delle particelle di sabbia nell'acqua; ma è quasi sempre cambiato dalla presenza di corpi che vi si combinano chimicamente. In generale tutti i corpi solidi solubili nell'acqua, i liquidi che bollono ad una temperatura più alta dell'acqua stessa, ritardano il punto di ebullizione. Egli è per questa ragione che l'acqua di mare, i siropi ec. hanno un punto di ebullizione assai più alto dell'acqua pura. Il vapore che si forma in questi casi conserva non di meno la temperatura di 100°. Se il liquido mescolato all'acqua bolle più presto di essa, il punto dell'ebullizione è abbassato, ed il vapore che si forma è un miscuglio dei vapori dei due liquidi.

3.° *Influenza della coesione del liquido e della natura del vaso.* È stato osservato che l'acqua bolle, di 1 grado a 1° e $\frac{1}{2}$ più tardi in un vaso di vetro che in un vaso metallico, e nello stesso tempo l'ebullizione si fa a salti, che sono talvolta molto violenti. Altri liquidi presentano dei fenomeni analoghi, e questi salti o *sussulti*, sembrano tanto più violenti quanta più coesione presenta il liquido, e quanto maggiore è l'adesione di esso per la materia del vaso. Questi sussulti provengono da piccole esplosioni dovute ad una grande quantità di vapore che formasi a un tratto nel seno della massa liquida. Sovente basta un filo metallico, o qualche piccolo corpo solido introdotto nel liquido per rendere regolare l'ebullizione. Si vede allora il vapore formarsi intorno ai corpi introdotti.

Proprietà dei vapori.

Forza elastica dei vapori. Per dimostrare che i vapori sono dotati di forza elastica a guisa dei gas si fa uso di parecchi barometri che pescano tutti in un largo pozzetto *ab*, e retti sopra una stessa base *B* (Tav. VI, Fig. 190). Due traverse metalliche *mn*, *m' n'* riuniscono questo fascio di barometri ad una colonna *AB*. È unito alla colonna un regolo *pq*, diviso in centimetri, su cui scorre un canocchiale a micrometro, munito di un nonio onde avere le frazioni di millimetro. L'altezza della colonna barometrica è in tutti la stessa, e misura esattamente la pressione dell'atmosfera. Con una piccola pipetta ricurva s'introduce in ciascuno un liquido diverso, come per esempio nell'uno dell'acqua, in un altro dell'alcool, in un terzo dell'etere ec., ma se ne lascia uno intatto. I tre liquidi per la loro leggerezza, salgono rapidamente nel vuoto barometrico, ed all'istante la colonna del barometro si abbassa. In quello dove fu introdotto l'etere, l'abbassamento è circa della metà della colonna del barometro intatto; in quello ad alcool la colonna si abbassa di circa 15 millimetri; ed in quello ad acqua l'abbassamento è pure di parecchi millimetri. È inutile fare osservare che questi abbassamenti non dipendono dal peso delle colonne liquide introdotte, giacchè hanno una piccolissima altezza; mentre per abbassare la colonna di mercurio di un sol millimetro converrebbe che avessero già un'altezza considerevole. Adunque l'abbassamento dei barometri ad altro non deve attribuirsi che alla istantanea conversione in vapore dei liquidi in essi introdotti, appena giunti, in presenza del vuoto barometrico. Questo abbassamento è dovuto alla forza elastica o di espansione di cui sono dotati i vapori non appena formati. Essi agiscono adunque a guisa dei gas. Se in uno dei barometri si fosse introdotto una piccola quantità d'aria o di un altro gas qualunque, questo colla sua forza elastica avrebbe egualmente prodotto una depressione. La forza elastica di ciascuno dei vapori formati si dedurrà facilmente dalla differenza di altezza fra la colonna del barometro ordinario e quella del barometro su cui si è prodotto. Potrà così determinarsi la varia intensità di questa forza pei varj vapori, ad una stessa temperatura.

Legge di Mariotte sulle forze elastiche dei gas, applicata ai vapori. Abbiamo mostrato ad evidenza che i vapori sono dotati di forza elastica a guisa dei gas; dimostreremo ora in un modo più completo l'analogia che passa fra i gas ed i vapori, provando che la legge di Mariotte sulle forze elastiche dei gas si applica perfettamente anche ai vapori. Ciò si prova per mezzo del *barometro a lungo pozzetto* immaginato da Mariotte (*Tav. VI, Fig. 191*), il quale non è altro che un barometro costruito con un tubo lunghissimo e fornito di un pozzetto *e c n* molto profondo, entro cui può immergersi più o meno il tubo barometrico. Se s'introduce una piccola quantità di etere in questo barometro, sale questo liquido sulla sommità della colonna di mercurio, e si converte all'istante intieramente in vapore. L'abbassamento della colonna barometrica c'indica la forza elastica del vapore d'etere in quel momento. Se allora si solleva il barometro e si accresce in tal modo lo spazio che occupa il vapore, la sua densità diminuisce per conseguenza, e nello stesso tempo la sua forza elastica. Difatti si osserva che la colonna del mercurio è meno depressa di prima. Seguitando a sollevare il barometro e ad accrescere così i volumi occupati dal vapore, si veggono variare corrispondentemente le sue forze elastiche. Misurando i diversi spazj occupati dal vapore e le forze elastiche corrispondenti, si giunge a determinare che *le forze elastiche dei vapori, come quelle dei gas, variano in ragione inversa dei volumi, e sono proporzionali alle loro densità ed alle pressioni che soffrono.* Ma la legge di Mariotte non si verifica sui vapori a tutte le pressioni. Per quelle che vanno successivamente diminuendo essa verificasi costantemente, e non ha limite. Si può aumentare quanto si vuole lo spazio in cui è contenuto un vapore, questo non cesserà di espandersi, e la sua forza elastica non cesserà di diminuire nel rapporto stesso della sua densità, cioè a dire dell'accrescimento di volume, ma non così accadrà per le pressioni che anderanno successivamente aumentando. Lo spazio occupato dal vapore coll'accrescersi della pressione anderà è vero successivamente diminuendo, e quindi la densità e la forza elastica del medesimo anderanno proporzionalmente aumentando, ma non però in modo inde-

finito. L'accrescimento della forza elastica dei vapori colla pressione ha un limite costante per ciascuno di essi. Giunti a questo limite essi ritornano allo stato liquido, o in altri termini si *condensano*. È questo limite di resistenza ad esser li-
quefatti che chiamasi *Tensione massima dei vapori*.

Adunque i vapori non possono resistere a delle pressioni indefinitamente crescenti. Per ciascuno di essi v'è una pressione che lo fa tornare allo stato liquido. Anche questo fatto può verificarsi col barometro a lungo pozzetto di Mariotte. Se mentre il vuoto di questo istrumento è occupato da una certa quantità di vapor d'etere, s'immerge gradatamente il tubo barometrico nel pozzetto, non tarderà a comparire sulla sommità della colonna di mercurio uno strato di etere liquido. Il vapor d'etere non si riduce però tutto insieme in tale stato; ve ne riman sempre un poco allo stato aeriforme; e questa porzione è dotata del suo massimo di forza elastica o di tensione, per cui non appena se ne diminuisce il volume si vede che una porzione di esso passa immediatamente allo stato liquido. La forza elastica del vapor d'etere che rimane sopra lo strato liquido è dunque costante, per quanto si restringa lo spazio in cui esso è compreso: con tal diminuzione non giungeremo ad altro che ad accrescere lo strato liquido dell'etere, cioè a dire a condensare una maggior quantità di vapore. Ciò che si dice dell'etere può riferirsi a qualunque altro liquido; solamente le tensioni massime variano per ciascuno di essi, cioè a dire varia la pressione che produce la tensione massima del vapore di ciascuno di essi. Quando un dato spazio è occupato da una certa quantità di un qualche vapore al suo massimo di tensione, si dice che esso è *saturo* di questo vapore. In uno spazio saturo di vapore non si può aumentare la pressione senza produrre la condensazione di una porzione del vapore. Uno spazio è saturo di vapore, quando nel medesimo può conservarsi uno strato del liquido che ha prodotto il vapore.

Forze elastiche dei vapori alle diverse temperature. Per osservare la forza elastica dei vapori a differenti temperature, Dalton si serviva dello stesso barometro a lungo pozzetto, ma contornava il tubo nel quale formavasi il vapore con un cilin-

dro di vetro, che riposava su di un bagno a mercurio; questo cilindro era destinato a ricevere l'acqua che dovea riscaldarsi. Dalton riconobbe per mezzo di questo apparecchio che se nella camera barometrica non esisteva che del vapore senza liquido eccedente, ossia del vapore non al suo massimo di tensione, esso dilatavasi come un gas permanente. In questo caso per tutti i vapori v'ha uno stesso coefficiente di dilatazione, che è eguale a quello trovato pei gas. Un dato volume di vapore che non è al suo massimo di tensione, portato da 0° a 100° , aumenta nel rapporto di 1 a 1,375, conservando la stessa forza elastica. Se al vapore riscaldato non è dato aumentare di volume, la sua forza elastica cresce nel rapporto stesso col quale si dilaterebbe. Questa nuova analogia fra i vapori ed i gas, allorchè son riscaldati, non sussiste più se i primi sono presi al massimo di tensione, e se sussistono a contatto del liquido che li produce. In questo caso al crescere della temperatura si formano nuovi vapori, e la forza elastica di questi vapori cresce molto più rapidamente di quella dei gas permanenti nelle stesse circostanze. Così per esempio mentre da 0° a 100° la forza elastica dei gas aumenta nel rapporto di 1 a 1,375, la forza elastica del vapore acquoso al suo massimo di tensione aumenta nel rapporto di 1 a 150.

Equilibrio di tensione fra due spazi, l'uno caldo e l'altro freddo. Quando il vapore è contenuto in uno spazio saturo avente delle ineguali temperature, la sua definitiva tensione è sempre la tensione massima corrispondente alla più bassa temperatura. È infatti necessario che la tensione sia da per tutto la stessa, perchè se fosse ineguale il vapore sarebbe spinto dai punti in cui la tensione è grande verso quelli in cui è piccola, nel modo stesso col quale l'aria si precipita dai punti in cui è maggiormente compressa verso quelli dove è meno, finchè non vi sia da per tutto la stessa pressione. Perciò il vapore affluisce verso i punti in cui la temperatura è bassa; ma poichè la saturazione già vi esiste, esso passa allo stato liquido a misura che vi giunge; tutto il liquido adunque si trasporta nello spazio freddo, e quando vi sarà accumulato, la tensione sarà da per tutto la stessa ed eguale ovunque alla tensione massima propria alla temperatura di

questo stesso liquido. Questo fenomeno è reso sensibile dalla seguente esperienza (*Tav. VI, Fig. 193*): la palla *a* del tubo *bc* contiene dell'etere solforico, che si fa assai vivamente bollire affinchè il vapore scacci tutta l'aria contenuta nel tubo; allora s'immerge l'estremità aperta del tubo in un piccolo recipiente *c* pieno di mercurio: il raffreddamento diminuisce la tensione del vapore ed il mercurio s'inalza. L'altezza della colonna sollevata, sottratta dall'altezza del barometro, dà la forza elastica del vapor d'etere alla temperatura dell'aria nel tempo dell'osservazione. Allorquando l'equilibrio è bene stabilito, si porta del ghiaccio pesto intorno alla palla *a*: il mercurio tosto sale nel tubo, e ciò prova che la tensione del vapore diminuisce, ed essa diminuisce perchè l'eccesso del vapore del tubo si precipita nella palla per condensarvi.

Tensioni massime del vapore acquoso alle diverse temperature comprese tra 0° e 100°. A motivo delle importanti applicazioni che si son tratte dalla forza elastica del vapore dell'acqua, i fisici hanno più specialmente rivolte le loro ricerche su di esso, tralasciando gli altri vapori, i quali avrebbero offerto dei risultati atti solo ad appagare la curiosità degli sperimentatori. Per determinare la massima tensione del vapore acquoso alle varie temperature comprese fra 0° e 100° si fa uso di un apparecchio consistente in due barometri a mercurio *a* e *b* (*Tav. VI, Fig. 192*), che pescano nel mercurio del pozzetto. S'empie questo cilindro di acqua, la quale per la sua leggerezza rimane al di sopra del mercurio del pozzetto. Un termometro *t* a bulbo cilindrico pesca in quest'acqua, e ne indica la temperatura. Può questa farsi variare, scaldando con una fiamma a spirito il pozzetto *o*, che è costruito con rame o con ferro, ed ha la forma di una cassula. In uno dei due barometri s'introduce una certa quantità d'acqua, la quale all'istante è in parte convertita in vapore. S'incomincia l'esperienza col versare acqua a zero nel cilindro che circonda i barometri, e si continua riscaldandola successivamente. Ad ogni temperatura si nota la differenza fra l'altezza dei due barometri; e questa differenza ci esprime la forza elastica massima del vapore acqueo alle temperature comprese fra zero e cento gradi. Una sola condizione è essenziale al risultato

di queste esperienze, cioè che a tutte le temperature vi sia sempre una colonna liquida a contatto del vapore. Il quadro seguente contiene le forze elastiche del vapore acqueo a diverse temperature comprese fra 0° e 100°.

Tensioni massime del vapore acquoso da 0° a 100° Cⁱ, e pressioni corrispondenti, sopra un centimetro quadro.

Gradi del termometro centigrado	Tensione del vapore in millimetri	Pressione sopra un centimetro quadro
0	5 ^{mm} ,059	0,0048 chil.
5	6,947	0,0050
10	9,475	0,0429
20	47,344	0,0235
30	30,643	0,0448
40	52,998	0,0710
50	88,743	0,1205
60	144,660	0,1965
70	229,070	0,3142
80	352,080	0,4783
90	535,280	0,7136
100	760,000	1,0325

Tensioni dei vapori, ed in particolare del vapore acquoso alle temperature inferiori a zero. — Gay-Lussac ha osservato che i vapori sono dotati di una certa tensione anche a temperature inferiori a zero. Per valutare queste tensioni egli si è servito dell'apparecchio rappresentato dalla Figura 194. La parte superiore del tubo barometrico *ABC* si ricurva e immersesi in un vaso contenente un miscuglio frigorifico. Introducendo un liquido nella camera barometrica, per i principj sopra esposti, la tensione del vapore che si sviluppa è esattamente la stessa, che se questa camera si trovasse totalmente sottoposta alla temperatura del miscuglio frigorifico.

Resulta dalle esperienze di Gay-Lussac che il ghiaccio emana dei vapori, i quali sono dotati di una certa tensione che varia al variare della temperatura. Ecco infatti i numeri che esprimono in millimetri la tensione del vapore acquoso da — 20 fino a zero.

Gradi del termometro centigrado	Tensione
— 20	1, ^{mm} 333
— 15	1,879
— 10	2,631
— 5	3,660
— 0	5,059

Forze elastiche dei vapori alle temperature di ebullizione dei liquidi da cui provengono. — Nelle esperienze destinate a mostrare la tensione massima del vapore acquoso alle diverse temperature, interessa molto l'osservare che giunti alla temperatura di 100°, a quella cioè dell'ebullizione dell'acqua, la colonna di mercurio del barometro in cui è il vapore acquoso è intieramente depressa fino al livello del pozzetto; il che ci dimostra che la tensione massima del vapore acquoso alla temperatura dell'ebullizione è eguale alla pressione atmosferica. Se invece di acqua si fosse adoprato qualunque altro liquido, come per esempio alcool o etere, si sarebbe osservato lo stesso fenomeno, cioè a dire che giunti alla temperatura della ebullizione di questi liquidi, la colonna di mercurio del barometro contenente i loro vapori si sarebbe depressa interamente fino al livello del pozzetto. Egli è dunque evidente che la tensione massima dei vapori è costantemente eguale alla pressione atmosferica, allorquando son giunti alla temperatura alla quale bollono i liquidi da cui sono prodotti.

Un liquido adunque bolle nell'aria allorquando il vapore che si forma nella sua massa è dotato di una forza elastica eguale alla pressione atmosferica. Se la massa liquida che bolle è molto profonda, le bolle di vapore che si formano negli strati inferiori, oltre la pressione atmosferica hanno anche da vincere la pressione degli strati liquidi superiori, e quindi il liquido bolle ad una temperatura un poco superiore a quella a cui la massima tensione del suo vapore fa equilibrio alla pressione atmosferica. Così se si volesse far bollire una colonna d'acqua alta 32 piedi, siccome gli strati inferiori sarebbero sottoposti ad una pressione di due atmosfere, non potrebbero bollire che a quella temperatura alla quale il vapore acquoso colla sua massima tensione fa equilibrio alla pressione di due atmosfere.

È per la stessa ragione che sull'alto delle montagne, o in generale a misura che ci solleviamo nell'atmosfera i liquidi bollono a delle temperature inferiori a quelle alle quali bollono al livello del mare. A misura che c'innalziamo la pressione atmosferica diminuisce, ed i vapori che formansi acquistano delle forze elastiche capaci di farvi equilibrio a temperature inferiori. Perciò per ogni liquido vi sono tanti punti di ebullizione quante pressioni possiamo concepire. Si è visto che l'acqua è capace di bollire nel vuoto alla temperatura di 0° . Basta per ottenere questo risultato che la forza elastica dell'aria si riduca al peso di una colonna di mercurio alta 5^{mm} , perchè è questa la tensione del vapore acqueo a 0° .

Abbiamo anche visto che nel digestore di Papin si può scaldare l'acqua molto al di sopra di 100° senza farla bollire. Ciò dipende perchè il vapore che si forma a 100° , non potendosi svolgere, e rimanendo invece sopra il liquido, esercita colla sua forza elastica una tal pressione da impedire l'ulteriore svolgimento di vapore; ed il liquido non potendo bollire continua ad assorbire calore, e la sua temperatura va successivamente crescendo. Questa elevazione di temperatura, senza che il liquido bolla, non è però illimitata. Vedremo tra breve che tutti i liquidi ad una data temperatura sono capaci di convertirsi in vapore occupando degli spazi poco più grandi di quelli che occupavano allo stato liquido, e vedremo ancora che in queste circostanze la loro tensione è immensa.

Tensioni massime del vapore acqueo a temperature superiori a 100° . Per determinare le forze elastiche del vapore dell'acqua, o di quello di altri liquidi, al di sopra della temperatura della loro ebullizione, è evidente che non può adoprarsi l'apparecchio che serve alla determinazione delle tensioni dei vapori alle temperature inferiori al punto di loro ebullizione. Si ricorre in questo caso al tubo ricurvo *ab* (Tav. VI, Fig. 194), in cui il braccio più corto è chiuso in *b*, ed è contenuto in un largo tubo *c* di vetro che vi è strettamente lutato. In questo tubo *ab* s'introduce quel liquido che si vuol convertire in vapore, e si tiene convenientemente inclinato perchè vada a raccogliersi nella sommità *b* del tubo. Si versa olio nel tubo *c*, e per mezzo di una lampada o di un fornello si giunge a riscaldare questo ba-

gno a olio oltre 100°. Da prima s'introduce un poco di mercurio nel tubo, e a mano a mano che la temperatura del hagno s'inalza si vede che è necessario versare nuovo mercurio nel tuho perchè non esca il vapore formato. La colonna del mercurio che rimane sollevata al di sopra del livello del mercurio nel hraccio chiuso, a cui deve aggiungersi la colonna di un barometro ordinario osservato nello stesso tempo, misura la tensione massima del vapore formato a quella data temperatura che viene indicata da un termometro immerso nel hagno a olio.

Dulong e Arago, ai quali devesi un esteso lavoro sopra questo soggetto, hanno adoprato un apparecchio che non differisce nel suo principio da quello ora descritto. La figura 196 ne mostra una sezione verticale. *C* è una caldaja a grosse pareti di rame rosso, della capacità di 80 litri circa; *f* è il forno sul quale è posta, *g* è la gratella di questo forno, e *t* il canale dal quale sorte il fumo. Due canne da fucile *e* ed *r* saldate al coperchio, chiuse in basso ed aperte in alto, piene di mercurio servono a indicare le temperature dell'acqua e del vapore. Nel mercurio che contengono stanno permanentemente dei termometri, le cui aste curvate orizzontalmente all'uscire dalle canne sono mantenute ad una temperatura costante per mezzo di una corrente d'acqua. Il vapore formatosi al disopra dell'acqua, ad una temperatura nota, s'inalza pel piccolo tubo verticale *bb'* per andare ad esercitare la sua pressione in *u* sulla sommità della colonna d'acqua che riempie il tubo inclinato *udh* e tutta la parte del vaso manometrico *vv'* di ghisa. Questa pressione si trasmette sulla superficie *ss'* del mercurio contenuto nel vaso *vv'*, ed infine all'aria del manometro *mm'*. Siccome si conosce la pressione corrispondente ad una data situazione della sommità della colonna di mercurio nel manometro, se ne deduce la forza elastica del vapore. Il tubo di vetro *nn'* comunicante colla parte superiore e con la inferiore del recipiente *vv'* serve a riconoscere il livello del mercurio in questo recipiente. Con questo apparecchio Arago e Dulong determinarono direttamente le tensioni del vapor d'acqua fino alla temperatura di 224° del termometro centigrado, ed osservarono che a questa temperatura la forza elastica del vapore acqueo corrispon-

deva a 24 atmosfere, ed era quindi capace di fare equilibrio ad una colonna di mercurio a 0°, alta metri 18,24. Del resto ecco il quadro delle forze elastiche del vapore acqueo a delle temperature comprese fra 100° e 224°.

Temperature in gradi centigradi	Elasticità del vapore, prendendo per unità la pressione atmosferica	Colonna di Mercurio a 0°, che misura la elasticità	Pressione sopra un centimetro quadro, in chilogrammi
100	1	0,760	4,033
121,4	2	1,520	2,066
135,1	3	2,280	3,099
145,4	4	3,040	4,132
153,0	5	3,800	5,681
160,2	6	4,560	6,498
168,5	7	5,320	7,234
172,1	8	6,080	8,264
181,6	10	7,60	10,330
200,4	15	11,40	15,495
214,7	20	15,20	20,660
224,2	24	18,24	24,792

Resulta evidentemente da questa tavola, che le tensioni del vapore acqueo crescono in una proporzione molto più rapida delle temperature. Il rapporto fra 100° e 200° è di 1 a 15.

Dalton, celebre fisico inglese, a cui debbonsi la maggior parte delle nozioni che si hanno sui vapori, avea creduto di potere ammettere un rapporto assai semplice fra le temperature e le tensioni corrispondenti dei vapori dei diversi liquidi. Questo rapporto, generalmente conosciuto sotto il nome di *Legge di Dalton*, è il seguente: le forze elastiche dei vapori dei varj liquidi sono per tutti le stesse a temperature distanti di un egual numero di gradi dal punto di ebullizione di ciascuno di essi. Così l'alcool che bolle a 78 avrebbe a 113° la stessa tensione che ha il vapor d'acqua a 135°. Dalton avea creduto di poter dedurre questa legge dal fatto che alla temperatura della ebullizione il vapore di tutti i liquidi ha la stessa tensione. Era adunque naturale che allontanandosi di uno stesso numero di gradi al di sopra o al di sotto di questo punto, le tensioni dei vapori non cessassero di conservarsi eguali fra loro.

Ma risulta dalle osservazioni di varj fisici che questa legge non è assolutamente rigorosa; e a delle distanze considerevoli dai punti di ebullizione comincia ad allontanarsi sensibilmente dal vero.

Densità dei vapori. Si distingue col nome di *densità assoluta* del vapore di un certo liquido il rapporto dei pesi di due volumi eguali di vapore e d'aria alla stessa temperatura ed alla stessa pressione. S'intende poi per densità di un vapore ad una certa temperatura ed una certa pressione il rapporto fra il peso di un certo volume di questo vapore a quella temperatura e a quella pressione, ed il peso di un egual volume d'aria a 0° , e sotto la pressione di $0^{\text{m}},76$. Tali rapporti sono sempre un numero costante per ogni vapore, ma diversissimo pei diversi vapori.

Gay-Lussac è stato il primo fisico che abbia insegnato a determinare la densità dei vapori. Il suo processo consiste nel determinare il volume che a una data temperatura occupa ridotto in vapore un determinato peso di liquido. A quest'uopo egli adopra una campana di vetro *AB* (Tav. VI, Fig. 197), divisa in parti di egual capacità, e di cui il volume è esattamente conosciuto. Empita questa campana di mercurio, si rovescia in un pozzetto costituito da una caldaja di ghisa *MN* piena di mercurio. Un largo tubo di vetro *CD* circonda questa campana, riposando sul bagno a mercurio, e serve a contenere dell'acqua o dell'olio che debbono esser riscaldati per mezzo di un fornello sottoposto. Il liquido che deve convertirsi in vapore nell'interno della suddetta campana piena di mercurio vi s'introduce contenuto in piccoli recipienti *m* di vetro terminati da un piccolo tubo corto e capillare chiuso al cannello. È facile di determinare il peso del liquido contenuto in queste piccole ampolle; basta prima pesar queste vuote e quindi piene; la differenza dei pesi ci dà il peso del liquido. Allorchè il bagno è riscaldato, il liquido contenuto nel recipiente di vetro si dilata e lo rompe; allora il vapore si forma ed il mercurio si abbassa. Si deve inalzare la temperatura del bagno fintantochè il liquido non è totalmente convertito in vapore. A questo punto si misura il volume che occupa il vapore, e correggendolo della dilatazione del vetro, si ha il volume reale del vapore alla tem-

peratura dell'esperienza, sotto una pressione eguale a quella dell'aria, diminuita dell'altezza del mercurio della campana al disopra del livello del bagno. Questa pressione ci dà la misura della forza elastica del vapore. Allora per mezzo della legge di Mariotte si deduce quale sarebbe il volume di questo vapore ridotto alla pressione di $0^m,76$. Poscia si riduce alla temperatura di 0° . Si deduce da ciò qual sarebbe il peso di un litro di tal vapore; e stabilendo un rapporto fra questo peso e quello noto di un litro d'aria, si ha la densità del vapore medesimo. Gay-Lussac sperimentando con questo metodo trovò che un grammo di acqua, il cui volume è di un centimetro cubo, convertito in vapore alla temperatura di 100° e sotto la pressione di $0^m,76$, occupava un volume di 1696 centimetri cubici, cioè a dire un volume 1696 volte maggiore. La densità del vapore acqueo a 100° è a quella dell'acqua alla stessa temperatura come 1 a 1680. Da ciò infine si deduce che il peso del vapor di acqua a 100° e sotto la pressione di $0^m,76$, sta al peso di un egual volume di aria alla stessa temperatura ed alla stessa pressione come 1,06588 sta a 1,69640, o circa come 10 a 16 o come 5 ad 8. Perciò $\frac{5}{8}$ è la densità assoluta del vapor d'acqua. Con questi dati è facile di trovare la densità d' del vapore acqueo ad una temperatura qualunque t , e sotto qualsivoglia pressione p . Rappresentando con d la densità di questo vapore a 100° e sotto la pressione di 760 millimetri, già da noi determinata, e con a il coefficiente di dilatazione dei gas e dei vapori, che sappiamo essere 0.00375, si ha

$$d' = d \frac{p (1 + 100^\circ a)}{760 (1 + a t)}$$

Questa formola si ricava dalle due seguenti proporzioni

$$1.^{\circ} d : d' :: 760 : p, \text{ da cui } d' = \frac{dp}{760}$$

$$2.^{\circ} d : d' :: 1 + at : 1 + 100 a, \text{ da cui}$$

$$d' = d \frac{(1 + 100 a)}{1 + a t}$$

L'unità ci esprime il volume del vapor d'acqua alla temperatura di 0° . Perciò $1 + 100 a$ è il volume del vapor d'acqua alla temperatura di 100° avente la densità d , e $1 + at$ è il volume del vapor d'acqua alla temperatura di t . Ora, siccome

le densità sono in ragione inversa dei volumi si ha il secondo rapporto.

Il processo di Gay-Lussac per la determinazione della densità dei vapori riesce perfettamente quando non si ha bisogno d'inalzare la temperatura al di sopra di 100° , ma non così quando si richiedono temperature maggiori. Allora converrebbe riscaldare il vapore per mezzo di un bagno ad olio; e per far concepire a questo liquido un alto grado di calore converrebbe spingere molto innanzi il riscaldamento, in guisa che riscaldandosi anche il mercurio del pozzetto, la tensione del vapor mercuriale, assai considerevole alle temperature superiori a 100° , si aggiungerebbe a quella del vapore, producendo così una causa d'errore non trascurabile. Inoltre il medesimo processo non potrebbe applicarsi alla determinazione della densità del vapore di quei liquidi i quali spiegano azione chimica sul mercurio. Il processo semplicissimo di Dumas si applica invece a qualunque temperatura, purchè non tanto alta da ammolire i recipienti di vetro in cui si riscaldano i vapori, ed a quei corpi ancora che agiscono chimicamente sul mercurio. Questo metodo consiste nel determinare direttamente il peso di un volume noto di vapore sotto la pressione dell'atmosfera e ad una certa temperatura. Il rapporto tra questo peso e quello di uno stesso volume di aria, alla stessa temperatura e sotto la stessa pressione ci dà la densità cercata. Ecco il modo di operare. Si prende un pallone di vetro della capacità di 250 a 500 centimetri cubici, ben pulito ed asciutto, se ne rammollisce il collo presso la pancia per mezzo della lampada da smaltatori, e quindi si tira in un lungo tubo capillare che s'incurva bruscamente in modo che faccia quasi angolo retto colla primitiva direzione. (*Tav. VI, Fig. 198*). Si rompe il tubo capillare verso la sua cima onde presenti un orifizio. Il pallone freddo, potendo esser considerato come non contenente che dell'aria secca, vien pesato esattamente, e si nota la temperatura dell'aria e l'altezza del barometro. Allora si scalda leggermente il pallone e se ne immerge il collo affilato nella sostanza naturalmente liquida o liquefatta per mezzo del calore, di cui si vuol determinare la densità allo stato di vapore: col raffreddamento la sostanza penetra nel pallone, e si arresta l'assorbimento

quando se ne sono introdotti alcuni grani. Allora si dispone il pallone fra due cerchi di un piccolo apparecchio di ottone, che ha per iscopo di tenerlo fisso (*Tav. VI, Fig. 199*), e s'immerge nel bagno in cui l'esperienza deve terminare. S'impiega l'acqua se la sostanza bolle al di sotto di 80° , l'olio se bolle al di sotto di 200° , e infine la lega fusibile di Darcet se il suo punto di ebullizione è più alto. Un termometro immerso nel bagno ne indica la temperatura. Quando la temperatura del bagno ha raggiunta la temperatura dell'ebullizione della sostanza, sortono dall'orifizio capillare del pallone dei getti considerevoli di vapore, i quali cessano quando il pallone non contiene più eccesso di sostanza e non altro che del vapore sotto la pressione atmosferica ed alla temperatura del bagno. Si cerca di mantenere il bagno per un certo tempo ad un punto fisso di temperatura, onde esser sicuri che la temperatura del bagno e quella del vapore sieno identiche. Allora si chiude il collo del pallone per mezzo del cannello, e si nota la temperatura del bagno e la pressione atmosferica. Si toglie il pallone dal bagno, si asciuga e si pesa di nuovo, determinando l'aumento o la perdita di peso che ha subito. Si nota la differenza dei pesi. Per determinare la capacità del pallone, se ne immerge il collo affilato nel mercurio, e se ne rompe la punta al di sotto di questo liquido. Tosto il mercurio si precipita nel pallone e lo riempie intieramente, poichè tutta l'aria è stata scacciata dal vapore; e per conoscerne il volume si versa in una provetta di cristallo divisa in centimetri cubici.

Da questi diversi dati è facile giungere alla cognizione del peso e del volume del vapore, da cui se ne deduce la densità. Il peso del vapore si compone dell'eccesso del peso del pallone pieno di vapore sul peso del pallone pieno di aria, più il peso dell'aria che lo riempiva nella prima pesata e che deve esser calcolato. Conoscendo il volume del pallone, la temperatura dell'aria nel momento della pesata e la sua pressione, si riduce questo volume d'aria a 0° ed alla pressione di 0,760; e questo volume così corretto è convertito in peso per mezzo del peso conosciuto del litro in queste circostanze. Questo peso aggiunto all'eccesso osservato dà il peso del vapore. La determinazione del volume del vapore esige qualche considerazione di più.

Infatti, poichè il pallone si è dilatato, bisogna cercare qual volume ha acquistato alla temperatura alla quale si è portato il vapore; lo che è facile, conoscendo la dilatazione cubica del vetro per ogni grado termometrico. Avendo in questa guisa il vero volume del vapore alla temperatura ed alla pressione sotto le quali il pallone è stato chiuso, si riduce facilmente a 0° ed a 0°,76. Ottenuto così il peso ed il volume del vapore, se ne deduce il peso del litro e quindi la densità del vapore rapporto all'aria.

Nel quadro seguente sono indicate le densità dei vapori di varj liquidi, determinate coi processi ora descritti, e presa per unità la densità dell'aria.

NOMI DEI LIQUIDI	Densità dei vapori	Punti di ebullizione
Acqua	0,625	400°
Alcool	4,643	78°
Etere solforico	2,586	36°
Essenza di Trementina.	5,043	457°
Mercurio	6,976	350°

Abbiamo veduto come per mezzo della formola

$$d' = d \frac{p}{760} \frac{(1 \times 100^{\circ}a)}{(1 \times at)}$$

si possa determinare la densità del vapore acquoso a qualsivoglia temperatura e sotto qualsiasi pressione. Per mezzo della medesima possiamo determinare la densità del vapore stesso al suo massimo di tensione, alle diverse temperature. Conoscendo il valore di t , si determina, per mezzo delle tavole da noi sopra riportate, la tensione massima corrispondente del vapore, ossia il valore di p , e si risolve l'equazione. Facendo questo calcolo per delle temperature crescenti, pel vapore acquoso non solo ma per altri vapori eziandio, si osserva che le densità dei vapori crescono rapidamente colle temperature, e ad un certo grado di calore questi vapori hanno una densità che non è molto inferiore a quella del liquido da cui sono formati. Un'esperienza curiosa di Cagnard de la Tour rende

manifesta questa conseguenza. Introdusse egli in un tubo di vetro a grosse pareti una quantità d'acqua che aveva circa $\frac{1}{4}$ del volume interno del tubo, e poscia chiuse il tubo. Esposto allora ad una temperatura gradatamente crescente, vide ad un certo punto sparire affatto l'acqua, e la vide ricomparire appena era di poco raffreddato. Ciò significava che il tubo era intieramente pieno di vapore, e che perciò la densità di questo era ridotta ad un quarto di quella dell'acqua. Ciò accadeva ad una temperatura poco diversa da quella della fusione dello zinco. È adunque presumibile che ad una temperatura alquanto più alta, la densità del vapor d'acqua al suo massimo di tensione non sia molto diversa da quella dell'acqua liquida. Ma queste ricerche sono pericolose, attesa l'immensa tensione del vapore a quelle altissime temperature. Cagnard de la Tour ripeté l'esperienza fatta sull'acqua anche, su di altri liquidi, come l'alcool, l'etere ed il solfuro di carbonio, determinando le temperature in cui questi liquidi si convertivano intieramente in vapori in spazj chiusi di una determinata capacità, e le tensioni di questi vapori a quelle temperature, ed osservò che l'alcool a 159° occupa col suo vapore uno spazio triplo che allo stato liquido, ed ha allora una tensione di 119 atmosfere; l'etere a 200° occupa uno spazio doppio, ed ha una forza elastica di 37 atmosfere.

Condensazione dei vapori. Se sopra uno spazio saturo di vapore e quindi al massimo di tensione si esercita una pressione, o se ne abbassa la temperatura, una porzione del vapore si fa immediatamente liquida. Se lo spazio non è saturo, il vapore si lascia comprimere e raffreddare a guisa di un gas, e per la compressione aumenta di forza elastica e di densità finchè non giunge al massimo di tensione; allora la tensione e la densità non crescono più, e si fa a mano a mano liquida quella porzione di vapore che satura lo spazio che si va togliendo. Il raffreddamento produce anch'esso la liquefazione dei vapori, perchè quanto più alta è la temperatura di un dato spazio, tanto più grande è la quantità di vapore che lo satura; per cui abbassando la temperatura la quantità di vapore capace di saturare quel dato spazio va continuamente diminuendo, e l'eccesso di vapore è costretto a ritornare allo stato liquido.

Identità dei gas e dei vapori. L'identità perfetta fra i gas ed i vapori che non sono al massimo di tensione aveva da lungo tempo fatto supporre che i gas così detti *permanenti* non fossero altro che vapori, i quali alle ordinarie temperature fossero molto lontani dal massimo di tensione. Le esperienze di Davy e Faraday confermarono queste supposizioni, mostrando che un gran numero di gas, fino allora creduti permanenti potevansi ridurre allo stato liquido mediante una forte pressione. Un considerevole raffreddamento coadiuva grandemente l'effetto della pressione. Già abbiamo descritti a pagina 184 gli apparecchi più usati per questo genere di esperienze, ed a pagina 186 abbiamo indicate le pressioni e le temperature a cui si liquefanno varj de' principali gas coerribili.

Calorico latente dei vapori. Non accade mai trasformazione di un liquido in vapore senza che una certa quantità di calorico sia resa latente. Noi abbiamo già veduto accader ciò nella ebullizione; nel qual fenomeno la temperatura del liquido che bolle rimane stazionaria qualunque sia la quantità di calore che si aggiunge al liquido stesso. Quando parleremo della evaporazione vedremo che anche in questo caso del calorico è reso latente, giacchè potremo osservare che non v'ha evaporazione senza raffreddamento, cioè a dire senza che il vapore sottragga calore al liquido stesso da cui proviene ed ai corpi coi quali questo è a contatto. Per determinare il calorico latente del vapore acqueo formato a 100° e sotto la pressione ordinaria dell'atmosfera, conviene raccogliere una certa quantità di questo vapore nell'acqua ad una temperatura più bassa. Si prende perciò una storta di vetro, in cui si pone l'acqua che deve bollire: il collo della storta va a pescare in un recipiente pieno di acqua fredda ed in cui è un termometro. Conviene evitare la condensazione del vapore nel collo della storta, il che si fa tenendolo caldo. Per impedire che il recipiente riscaldato dal vapore, e che acquista così una temperatura più alta di quella dell'aria, perda del calore, si comincia l'esperienza prendendo acqua che sia più fredda dell'aria di quanto all'incirca vien poi ad esser

più calda quando l'esperienza è finita. In questa guisa, durante la prima metà dell'esperienza, il vaso è riscaldato dall'aria di quanto è raffreddato nell'altra metà, di modo che l'esperienza succede come se il vaso non si raffreddasse. Dopo avere osservato queste cautele, si determina di quanto è cresciuto il peso del liquido nel recipiente e di quanto la sua temperatura si è inalzata. L'acqua si è riscaldata per due cause: prima pel calore comunicatole dal vapore dotato della temperatura di 100° , poi pel calore latente del vapore, che si è reso libero nel passaggio di questo allo stato liquido. È facile calcolare col principio dei miscugli la temperatura che deve aver preso il liquido in grazia dei 100 gradi di calore del vapore condensatovi. L'eccesso della temperatura che ha preso realmente il liquido, su quella così calcolata, è dovuto al calorico latente del vapore; e perciò rappresenta la quantità di calorico che si ricercava.

Un apparecchio per la determinazione del calorico latente del vapore acquoso assai migliore di quello descritto è il seguente (*Tav. VII, Fig. 200*). *A* è il recipiente che somministra il vapore, *b* il vaso che lo riceve, *c* un diaframma composto di tre lamine levigatissime di metallo, separate da uno strato d'aria, destinato a impedire la comunicazione del calore di *A* in *b*. Il vaso *b*, di sottil lamina di rame, contiene circa un litro d'acqua; è fornito di un serpentino nel quale giunge il vapore e vi si condensa; l'acqua della condensazione cade in un piccolo serbatoio che comunica coll'aria esterna mediante un tubo verticale *a*, affinché l'ebullizione si produca sotto la pressione atmosferica. Un termometro *t* dà la temperatura dell'acqua che circonda il serpentino, e per mezzo di un agitatore si mescola incessantemente onde la temperatura sia eguale da per tutto. L'aumento di peso del vaso *b* ci dà il peso del vapore che si condensa, e dall'innalzamento del termometro si valuta il calore che svolge (1). È necessario che il vapore

(1) Sia *M* il peso del vapore condensato, la cui temperatura al momento che entra nel serpentino è di 100° - chiamisi *x* il suo calorico latente. Si rappresenti con *m* il peso dell'acqua in cui è immerso il ser-

non trascini dell'acqua allo stato liquido; ed è per questo che il tubo destinato a portare il vapore nel serpentino è fornito di un robinetto *r* a due sgorghi. Aperto in un senso, dirige il vapore nel tubo di sgorgo *e*, che comunica coll'aria esterna; girato di un quarto di giro, lo conduce al serpentino. Si tiene nella prima posizione finchè l'ebullizione non è bene stabilita ed il robinetto non è ben caldo. Allora gli si dà la seconda, e l'osservazione comincia; al termine di essa si riconduce alla prima.

È stato osservato che il calore latente ceduto da un dato peso di acqua in vapore è tale da inalzare la temperatura di un egual peso di acqua da 0° a 531°, 26, vale a dire che 531°, 26 è il calorico latente del vapore dell'acqua bollente. Secondo Dulong il calorico latente del vapore acqueo sarebbe rappresentato da 543° invece che da 531°. Non è anche stato determinato se il calorico latente dei vapori varia al variare delle temperature a cui il vapore si è formato, o in altri termini se varia al variare delle forze elastiche e delle densità del vapore. Watt e Clement Desormes ammettevano che il calorico latente del vapore acqueo fosse costante ad ogni temperatura, e conseguentemente qualunque fosse la sua forza elastica.

Miscuglio dei vapori coi gas. Per osservare i fenomeni presentati dal miscuglio dei vapori coi gas, Dalton si servì di un pallone di vetro *M* (Tav. VII, Fig. 201), in cui si può fare il vuoto, ed introdurre per mezzo del robinetto *n* un gas qualunque perfettamente asciutto. Il barometro *abc* misura la forza elastica del gas che è nel pallone, ed è per mezzo del robinetto a goccia *p* che s'introduce in esso il liquido che si vuol ridurre in vapore. Dalton trovò il primo, sperimentando con questo ap-

penlino, con *t* la sua temperatura, e con *a* la temperatura che avrà acquistato al termine dell'esperimento. La quantità di calorico sensibile ceduta dal vapore dell'acqua bollente è eguale ad $M(100 - t)$; e quella del calorico latente sviluppato è eguale ad Mx . D'altronde il calorico assorbito dall'acqua fredda è eguale ad $m(a - t)$. Perciò si ha:

$$Mx + M(100 - t) = m(a - t), \text{ da cui si ricava}$$

$$x = \frac{m(a - t) - M(100 - t)}{M}$$

parecchio, che i vapori si formavano in uno spazio pieno di aria come in uno spazio vuoto, e che nei due casi la differenza si riduceva al tempo maggiore impiegato nel primo caso alla formazione del vapore. Gay-Lussac verificò questa legge col seguente apparecchio. Consiste questo in un cilindro di vetro AB diviso in parti di egual capacità (*Tav. VII, Fig. 202*) e munito alle sue due estremità di due robinetti di ferro R e R' ; la parte inferiore di questo tubo comunica con un tubo laterale verticale CD di un diametro molto più piccolo ed aperto alla sua sommità. Si riscalda l'apparecchio a fine di disseccarlo e si riempie in totalità il cilindro AB di mercurio recentemente bollito, versandolo dalla parte superiore: il mercurio sale nel tubo CD e vi si mantiene allo stesso livello che nel cilindro. Allora si avvita sul robinetto R un pallone pieno di gas perfettamente disseccato sul quale vuolsi operare, e si aprono i robinetti R ed R' , ed il robinetto del pallone. Una certa quantità di mercurio scola dal robinetto inferiore, ed il gas s'introduce nel cilindro AB ; quando ve ne è entrata una quantità sufficiente si chiudono i robinetti R ed R' . Il gas introdotto essendo dilatato, il livello del mercurio è più basso nel tubo CD che nel tubo AB . Per sottoporre il gas alla pressione dell'atmosfera, si versa del mercurio dal piccolo tubo finché il livello del mercurio nei due tubi sia alla stessa altezza; il gas è allora sottoposto ad una pressione misurata dall'altezza del mercurio nel barometro. Per introdurre nel gas il liquido che deve evaporarvisi, si pone sul robinetto R un robinetto R'' , la chiave del quale non è forata da parte a parte, ma contiene solamente una piccola cavità; si versa del liquido nel piccolo imbuto che termina il robinetto, e girando la chiave s'introduce ogni volta un piccol volume di liquido senza mettere il gas in comunicazione coll'aria. Quando si è introdotta una certa quantità di liquido, il mercurio discende nel tubo AB al di sotto del suo livello nel tubo CD . Per esempio, impiegando l'etere l'abbassamento è di circa 38 centimetri. Si è sicuri che lo spazio di aria è saturo di vapori allorquando seguitando ad aggiungere il liquido, il volume del gas rimane stazionario. Allora s'introduce pel tubo CD

tanto mercurio da obbligare il gas saturo di vapori a riprendere il volume primitivo del gas secco. Si vede allora il mercurio rimanere nel tubo *CD* più alto di prima, ed è certo che questo eccesso di pressione interna è dovuto alla sola forza elastica di quel vapore che vi si è sviluppato e che è al massimo di tensione. Ora è stato osservato che questa tensione è la stessa di quella del vapore nel vuoto alla stessa temperatura. Questo risultato è generale per ogni vapore mescolato a qualsiasi gas. Adunque *uno spazio limitato pieno di aria o di gas, a contatto di un liquido, si satura di vapore come se lo spazio fosse vuoto: l'elasticità del miscuglio del vapore e del gas è eguale alla somma delle forze elastiche che il vapore ed il gas vi prenderebbero esistendo separatamente.* La sola differenza prodotta dalla presenza dell'aria o del gas consiste nella minor rapidità con cui lo spazio si satura di vapore. Questo fatto ci presenta così una nuova analogia fra i vapori ed i gas, poichè la stessa legge da noi ora esposta si osserva nel miscuglio dei gas fra loro purchè essi non abbiano azione chimica. Ognuno del gas esiste ed agisce nel miscuglio colla sua forza elastica, indipendentemente dagli altri con cui è mescolato, e come fosse solo.

Nel caso in cui lo spazio nel quale il vapore si forma è estendibile; può facilmente intendersi ciò che deve accadere. È collo stesso apparecchio che si possono osservare i fenomeni. Dopo che il volume occupato dal gas e dal vapore è stato ridotto al volume primitivo del gas secco, che chiameremo *V*, per cui nel tubo *CD* riman sollevata una colonna di mercurio che indica la forza elastica del vapore, si fa uscire una certa quantità di mercurio dal robinetto inferiore *R'*, e così estendesi lo spazio *V*, sino a tanto che si vede discendere e fissarsi nel tubo *CD* il mercurio allo stesso livello del tubo grande. Il miscuglio del vapore e del gas ha in questo modo una forza elastica eguale alla pressione atmosferica. Se invece di mescolare gas e vapore, si fossero mescolati due gas, come per esempio aria atmosferica ed un altro gas, il cambiamento di volume e di forza elastica sarebbe accaduto secondo la legge di Mariotte; lo stesso sarebbe accaduto se il vapore non fosse

costantemente stato al massimo di tensione o di densità; ma supposto che uno strato liquido di etere sia rimasto sopra il mercurio anche dopo l'aumento dello spazio, è accaduto che una nuova quantità di vapore si è formata a misura che lo spazio si è accresciuto, e che infine il vapore ha conservato nello spazio esteso la stessa tensione massima che aveva prima che lo spazio fosse accresciuto. La forza elastica dell'aria è per conseguenza ridotta a ciò che manca alla forza elastica del vapore per equivalere alla pressione atmosferica. Se la forza elastica del vapore equivale ad una mezza atmosfera, l'aria non sosterrà più che la pressione dell'altra metà, per cui dovrà il suo volume divenir doppio. Basterà dunque di conoscere la forza elastica massima del vapore per essere in grado di determinare il nuovo volume V , che dovrà prendere il miscuglio del vapore e dell'aria. Difatti, sia per esempio v il volume primitivo dell'aria secca ad una pressione qualunque p , e sia f la forza elastica del vapore. Il volume v deve dilatarsi, mescolandosi al vapore, finchè la sua forza elastica così diminuita, aggiunta a quella del vapore, equivalga alla pressione atmosferica. La forza elastica dell'aria nel nuovo volume è espressa da $p - f$; e poichè i volumi sono in ragione inversa delle forze elastiche, avremo che

$$V : v = p : p - f, \text{ da cui}$$

$$V = \frac{v \times p}{p - f}$$

Nello stesso modo sarà facile determinare la densità dell'aria e quella del vapore che saranno mescolati, e per conseguenza quella del loro miscuglio. Difatti, essendo le densità proporzionali alle forze elastiche, la densità dell'aria nel miscuglio starà alla densità di un'altra massa d'aria asciutta, e alla stessa temperatura e pressione del miscuglio, come $p - f$ sta a p . Perciò chiamando D' la densità dell'aria nel miscuglio, e D la densità dell'aria asciutta nelle stesse condizioni di temperatura e di pressione, avremo

$$D', D = p - f : p, \text{ da cui}$$

$$D' = \frac{D \times p - f}{p}$$

La densità del vapore, si avrà moltiplicando per 0,620 la densità che dovrebbe aver l'aria secca se fosse alla stessa sua temperatura ed avesse la medesima sua forza elastica. Questa densità, sommata a quella dell'aria con cui è mescolata, darà la densità del miscuglio. Da ciò risulta che sotto la stessa pressione ed alla stessa temperatura, un volume d'aria sarà tanto più leggiero quanto più l'aria sarà satura di vapore acqueo. Parimente è chiaro come al crescere della temperatura dovrà aumentare la quantità del vapore contenuto nell'aria ad una pressione costante: elevandosi la temperatura cresce la tensione e la densità del vapore e scema quella dell'aria.

Dopo quanto abbiamo esposto intorno al miscuglio de' vapori coi gas, non deve far più meraviglia che un vapore, il quale nel vuoto non è capace di sopportare una pressione di $\frac{1}{2}$, di $\frac{1}{3}$, di $\frac{1}{4}$ atmosfera senza condensarsi, possa mantenersi nell'atmosfera mescolato all'aria. Ciò dipende dal principio che abbiamo dimostrato, che in uno spazio pieno di un miscuglio di gas e di vapori, ognuno di questi sostiene una porzione della pressione totale, come se vi fosse solo. Così per esempio, il vapor d'etere, che ha alla temperatura ordinaria una forza elastica equivalente a circa $\frac{1}{2}$ atmosfera, mescolato all'aria, sotto la pressione ordinaria, sostiene la pressione di una mezza atmosfera.

Condensazione dei vapori mescolati ai gas. La condensazione del vapore mescolato all'aria o ad un gas qualunque accadrà per quelle stesse cagioni per cui avviene nel vapore formato in uno spazio vuoto, cioè a dire per un abbassamento di temperatura o per un aumento di pressione. Abbiamo un dato volume di aria umida alla temperatura di 20°, sotto la pressione ordinaria di 760 millimetri. Supponiamo che la forza elastica del vapore acqueo che contiene equivalga a 10 millimetri, sarà questa la porzione di pressione atmosferica che soppor-

terà il vapore. Lo spazio non è di certo al massimo di tensione, nè è perciò saturo di vapore. Comprimeudo questo miscuglio, la tensione e la densità del vapore e dell'aria saranno accresciute; portata la tensione del vapore al suo massimo, se si seguirà ad accrescere la pressione, una porzione del vapore sarà costretta a convertirsi in liquido, e la sola densità e forza elastica dell'aria cresceranno. Nello stesso modo raffreddando il miscuglio fino alla temperatura alla quale il vapore ha per forza elastica massima 10 millimetri, una porzione di vapore si farà liquida, continuando a raffreddare maggiormente.

Fenomeni di calefazione. — Con questo nome distinguonsi i singolari fenomeni che si producono gettando dei corpi sopra superfici fortemente riscaldate. Tali fenomeni sono stati scoperti dal Boutigny d'Evreux, il quale studiandoli sotto ogni rapporto, ha arricchito la scienza di un gran numero di fatti importanti. Ecco in che consiste il fenomeno principale scoperto dal Boutigny. Se si versa a poco a poco dell'acqua sopra un corpo caldissimo, come per esempio in un crogiuolo di platino portato al rosso-bianco, essa non entra in ebullizione; sembra invece che fugga il contatto del corpo caldo, e prendendo una forma globulare, saltella e si aggira sopra sè stessa intorno del crogiuolo senza mai toccarne le pareti. Non di meno quest'acqua scaldasi un poco, dà qualche vapore, e nel suo movimento diminuisce lentamente di volume. Se si estrae il crogiuolo dal fuoco, e si lascia raffreddare verso il rosso scuro, ossia a circa 200° , l'acqua comincia a perdere la sua forma sferica e a distendersi, e dopo poco viene in contatto delle pareti del crogiuolo, ed evapora con estrema rapidità e con rumore. Il Boutigny distingue col nome di *stato sferoidale*, quello dell'acqua nel fenomeno descritto; ma si è assicurato che ogni altro liquido volatile è capace di prenderlo. La cagione del fenomeno è assai semplice. Il calorico da cui è investita la lamina metallica, di cui la temperatura sorpassa i 150° o i 200° , forma intorno alla massa liquida uno strato di vapore che impedisce il di lei contatto colla lamina stessa; allora la comunicazione del calore è molto impedita

per questa soluzione di continuità, e per l'assorbimento che ne opera lo stesso vapore, per cui la massa liquida non ricevendo che pochissimo calore non si evapora se non con estrema lentezza, e la sua temperatura riman sempre al di sotto di 100°. In quanto alla forma sferoidale che acquista, forse ciò è dovuto al trovarsi immersa in un'atmosfera molto densa di vapore, la quale giunge a distruggere presso che intieramente l'effetto della gravità, per cui le sue molecole si aggruppano obbedendo soltanto alla reciproca loro attrazione. Resta a spiegare la causa del movimento vorticoso che prendono le masse sferoidali; ma su questo fenomeno regna ancora molta oscurità. Del resto, dei fenomeni della stessa natura di quello scoperto dal Boutigny, produconsi assai di sovente. I magnani ne producono tutti i giorni, ma in ordine inverso: quando vogliono temprare dell'acciajo, lo immergono arroventato nell'acqua fredda, e per varj secondi l'acciajo resta rosso nella medesima, producendo una specie di foderò di vapore che impedisce il contatto; ma tosto che si è alquanto raffreddato, il contatto col liquido si stabilisce, ed allora l'acqua bolle vivamente e l'acciajo si raffredda repentinamente. Lo stesso fenomeno può prodursi con un filo di platino reso incandescente per mezzo della corrente elettrica; esso conserva la sua temperatura nell'acqua senza produrre l'effervescenza e il riscaldamento che produrrebbe un filo meno caldo. Per la stessa ragione è possibile immergere un dito ed anche l'intiera mano in un bagno di ferro, di bronzo e di piombo fusi, senza bruciarsi. Questa singolare esperienza vien ripetuta da molti secoli dagli operaj fonditori, operando con la mano leggermente bagnata. Questa umidità artificiale, e spesso anche quella che è naturale alla mano, costituendo uno strato di vapore, impedisce il contatto col metallo fuso. È necessario per altro fare l'esperimento con una certa rapidità, ed è sempre prudenza bagnarsi la mano, o meglio immergerla, dopo averla insaponata, in una soluzione di sale ammoniaco.

Ma le ricerche del Boutigny su questo soggetto hanno dato origine a dei fatti, in apparenza anche più meravigliosi. Egli ha osservato che l'acido solforoso liquido è capace anch'esso

di prendere lo stato sferoidale in una cassula di platino resa incandescente nella mufola di un fornello a reverbero; ma ciò che è veramente singolare a vedere si è che immersa per pochi istanti una cassulina di platino piena di acqua nella massa sferoidale dell'acido solforoso, se ne estrae perfettamente congelata, ritraendola dall'interno del fornello acceso, in cui la temperatura è altissima. Questo apparente prodigio, in realtà è semplicissimo. Alla temperatura ordinaria l'acido solforoso esposto all'aria si abbassa coll'evaporazione 15 a 20 gradi sotto zero, ed anche a 40, se è esposto ad una corrente d'aria, per cui congela immediatamente le gocce d'acqua che si fanno cadere su di esso. Ora ridotto allo stato sferoidale, e avvolto da uno strato di vapore, l'acido solforoso continua ad evaporarsi lentamente senza mai acquistare una temperatura superiore a zero, e l'acqua che s'immerge nella sua massa si congela nella mufola del fornello, come si congelerebbe in ogni altra circostanza.

Dell'evaporazione. L'evaporazione, come abbiamo già indicato, è la formazione del vapore alla superficie libera dei liquidi. L'acqua si evapora alla superficie dei fiumi, dei laghi e dei mari; si evapora alla superficie della terra e sulle piante, e ciò a tutte le temperature, anche alle più basse. Egli è evidente che in tali circostanze il vapore acquoso non è dotato di forza elastica capace di vincere la pressione atmosferica. Perciò le osservazioni le più comuni ci provano che il vapore si forma sull'acqua a tutte le temperature, e che si esala nell'aria colle più deboli tensioni. Si era da primo supposto che questo fenomeno si producesse in virtù di un'affinità chimica esistente fra le molecole del vapore e quelle dell'aria; ma noi abbiamo già dimostrato come tale ipotesi sia falsa, poichè mostrammo i vapori formarsi meglio nel vuoto che nell'atmosfera. L'aria adunque è passiva nel fenomeno dell'evaporazione, ed anzi a primo aspetto sembrerebbe che dovesse opporsi ad ogni evaporazione, poichè la sua pressione equivale a 760 millimetri di mercurio, e quindi sorpassa la tensione del vapore alle temperature inferiori a quella dell'ebullizione. Ma l'aria non preme sui liquidi, come la base di uno stantuffo impermeabile; bensì presenta loro dei

pori nei quali può penetrare il vapore. I vapori si mescolano all'aria nella stessa guisa con cui vi si mescolano i gas. Se pongonsi a contatto dell'aria e del gas idrogeno, tenendo in alto il più leggiero, cioè l'ultimo, accade non di meno la formazione di un miscuglio omogeneo. Lo stesso avviene fra l'aria e i vapori.

Ma in qual guisa possono formarsi i vapori a delle temperature bassissime? Come avviene che il diaccio vada esso pure soggetto ad evaporazione sensibile, ben'anco alla temperatura estremamente bassa di -40° ; come avviene in generale che un gran numero di corpi solidi emanano dei vapori alle temperature ordinarie? Per ispiegarci questi fenomeni convien riflettere che la forza repulsiva del calorico, di cui sono dotati tutti i corpi, anche alle più basse temperature, nell'agire alla loro superficie tende a distaccare ed a sollevare le molecole superficiali dal rimanente della massa, e non trovando sufficiente ostacolo nella pressione della sovrapposta atmosfera, giunge a operarne la separazione; e le medesime svolgendosi ad una assai grande distanza fra loro, per effetto della stessa forza elastica del calore, vengono a costituire un fluido elastico.

Tuttavolta se l'aria non si oppone intieramente alla formazione dei vapori, ne ritarda notabilmente la formazione, giacchè come nel miscuglio di due gas, le molecole dell'uno sono un ostacolo meccanico alla diffusione delle molecole dell'altro, così nell'evaporazione le molecole dell'aria sono di ostacolo alla diffusione delle molecole dei vapori. È per questa ragione che l'evaporazione anche ad una temperatura meno alta è più rapida nel vuoto che all'aria libera.

Quando l'aria è satura di un dato vapore, l'evaporazione del liquido che l'ha prodotto si arresta. Così vediamo che l'evaporazione è molto lenta se l'aria è tranquilla, e rapida se è agitata; e ciò perchè in quest'ultimo caso ad ogn'istante nuovi strati d'aria non satura di vapore vengono portati a contatto del liquido. Un vento secco animato da una velocità infinita soffiando sulla superficie di un lago vi produrrebbe un'evaporazione così rapida, come se si operasse in un vuoto infinito, giacchè le molecole del vapore sarebbero così veloce-

mente trasportate che non potrebbero esercitare alcuna pressione sulle molecole dell'acqua per impedir loro di proseguire ad evaporarsi.

L'evaporazione di un liquido all'aria libera e tranquilla, benchè si operi in modo lento, continua nondimeno incessantemente, e ciò per la tendenza, che come abbiamo detto, hanno, a guisa dei gas, i vapori a mescolarsi all'aria per formare un tutto omogeneo. Quando poi il vapore che si produce ha una densità minore di quella dell'aria, come appunto il vapore acquoso, allora v'ha un'altra causa che contribuisce a perpetuare l'evaporazione, e questa si è la leggerezza che acquistano gli strati dell'aria nel saturarsi di vapore, per cui s'innalzano e cedono il posto a nuovi strati più pesanti e non saturi. Ecco perchè si arresta l'evaporazione di un liquido chiudendo con un coperchio il recipiente che lo contiene. L'aria rimasta nel recipiente bentosto si satura di vapore, ed allora l'ulteriore evaporazione diviene impossibile. È appena necessario osservare che l'evaporazione di un liquido dev'essere tanto più rapida quanta più superficie questo presenta.

Freddo prodotto dall'evaporazione. I vapori, in qualunque modo si formino, devono, per sussistere, contenere una grande quantità di calorico latente, e questo lo devono togliere al liquido in cui formansi ed ai corpi circondanti. Nell'ebullizione all'aria libera, il liquido conserva una temperatura fissa, perchè riceve dal fornello tanto calorico quanto il vapore ne assorbe; ma nella evaporazione spontanea, mancando la sorgente calorifica che serve a mantener costante la temperatura, la sottrazione del calorico deve necessariamente farsi sensibile, e quindi la temperatura abbassarsi. Se l'aria e i corpi circondanti non comunicassero continuamente del calore al liquido che spontaneamente si evapora, il suo raffreddamento potrebbe essere indefinito; ma la sua temperatura diviene stazionaria quando la perdita di calore dovuta all'evaporazione si trova compensata dallo irraggiamento dei corpi esterni e dal riscaldamento dovuto al contatto dell'aria. Se però l'evaporazione si fa con grande rapidità, queste cause non sono sufficienti a compensare la gran perdita di calore che accade, e il raffreddamento si fa sensibile. Quando pongonsi sulla

mano dei corpi molto volatili come l'alcool e l'etere, la loro evaporazione è accompagnata da una sensazione di freddo. Leslie ci ha insegnato che il raffreddamento che si produce per la rapida evaporazione dell'acqua nel vuoto è tale da produrre la congelazione di una porzione della medesima. Questa rimarchevole esperienza si fa sotto la campana della macchina pneumatica; ma è necessario porre al di sotto della cassulina contenente l'acqua da evaporarsi, un recipiente pieno di acido solforico, affinchè i vapori acquosi sieno tosto assorbiti, e non diminuiscano colla loro presenza la rapidità dell'evaporazione. È inoltre necessario che la quantità dell'acqua non superi i 20 grammi e sia posta sopra una cassulina di metallo molto larga e sottile.

Si può spingere il raffreddamento per evaporazione fino al punto di produrre la congelazione del mercurio. A tal'uopo si riveste di cotone la palla di un termometro, e si bagna con acido solforoso liquido: l'evaporazione è sì rapida, e la quantità di calore tolta dal vapore al termometro è così grande, che la colonna del mercurio si precipita a -10° , -20° , -30° , e dopo pochi istanti tutto il mercurio della palla si congela.

Nell'estate l'evaporazione dei liquidi facendosi più rapidamente che nell'inverno produce un raffreddamento maggiore. È per questa ragione che in quella stagione si può rinfrescare una stanza spargendo dell'acqua sulle tende delle finestre, mentre in inverno una tale operazione non abbasserebbe quasi punto la temperatura. Quei vasi detti Alcarazas, di cui si servono in Spagna ed in Oriente per conservar fresche le acque e le bevande spiritose, sono dei recipienti porosi, che offrono all'evaporazione una estesa superficie umida. Il liquido interno s'infiltra attraverso le pareti, si evapora prontamente in un'aria un poco agitata, e quest'azione rinnovandosi continuamente, il vaso ed il liquido che contiene sono perciò conservati ad una temperatura di 10° , 15° , o 20° al di sotto di quella dell'ambiente. Per una ragione simile, le piante devono generalmente avere una temperatura più bassa di quella dell'aria, giacchè dai loro tessuti esterni si evapora continuamente l'umidità interna. La traspirazione abbondante che si fa continuamente alla superficie del nostro corpo è una causa

continua di raffreddamento. È a motivo della traspirazione, che il calore del corpo umano si mostra costante tanto d'inverno che d'estate, e non cangia al variare dei climi, imperciocchè si fa d'essa maggiore al crescere della temperatura, e quindi aumenta il raffreddamento che ne proviene. Così sotto la zona torrida, in cui la temperatura dell'aria s'inalza spesso a 50° , gli uomini vivono in quest'ardente atmosfera senza partecipare della sua temperatura; l'attività della traspirazione è proporzionata all'energia del calore, e queste cause contrarie si bilanciano con tanta armonia, che il sangue di un negro ha presso a poco la stessa temperatura di quello di un abitante della Lapponia. Se per una causa qualunque la nostra traspirazione verrà a rallentarsi, il calore dell'atmosfera ci si farà più sensibile; così non potremo sopportare una temperatura anche non molto alta in un'atmosfera satura di vapore, mentre potremo reggere a temperature più elevate in un ambiente asciutto.

Igrometria. L'igrometria ha per oggetto la ricerca dei vari gradi di umidità dell'aria; e gl'istrumenti usati a tale ricerca diconsi *Igrometri*. Diconsi poi *Igroscopi* quegli istrumenti che manifestano i cambiamenti d'umidità nell'aria, senza però darne la misura. L'aria, anche quando sembra asciutissima, contiene sempre del vapore acquoso, lo che dimostrasi esponendo in mezzo di essa un vaso pieno di un miscuglio di diaccio e sale, poichè vedesi tosto del vapore acquoso depositarsi allo stato liquido sulle pareti del vaso. Nell'estate vediamo accadere lo stesso fenomeno sui vasi di cristallo pieni di acqua fredda.

Chiamasi *stato igrometrico* dell'atmosfera il rapporto fra la quantità di vapore in essa contenuta e quella che vi sarebbe contenuta se fosse satura. L'aria è difficilmente satura di vapore; se fosse tale la ricerca della quantità di vapore in essa contenuto sarebbe semplicissima. Difatti quando è conosciuta la temperatura che ha quest'aria satura di vapore è pur conosciuta la tensione massima del vapore stesso, e quindi la sua quantità. Supponiamo che la tensione massima del vapore mescolato all'aria sia di un centimetro, cioè a dire faccia equilibrio ad una colonna di mercurio alta un centimetro. È certo che il peso del vapore contenuto in un dato volume di

quest'aria satura di vapore, è eguale al peso di un egual volume d'aria presa alla stessa temperatura, ridotta alla stessa pressione di un centimetro, e moltiplicato per $\frac{1}{8}$, che è la densità assoluta del vapore acqueo. Infatti a volumi eguali, i pesi sono proporzionali alle densità. Perciò chiamando D e D' le densità dell'aria e del vapore acqueo, e P e P' i loro pesi, avremo

$$D : D' = P : P'$$

Ma D è eguale all'unità, D' è eguale a $\frac{1}{8}$. Perciò P' sarà $\frac{1}{8}$ di P . Ma l'oggetto dell'igrometria si è quello di determinare la quantità di vapore acqueo contenuto in un dato volume d'aria non satura del medesimo. Per giungere a questo scopo sono stati immaginati differenti metodi, dei quali andiamo ad esporre i principali. Il metodo di Dalton perfezionato poi da Daniell e da Koerner è fondato sul seguente principio. Supponendo che si raffreddi lentamente una massa d'aria, si giungerà ad una temperatura così bassa in cui quest'aria verrà saturata dalla quantità di vapore in essa contenuto. La differenza fra la temperatura dell'aria e quella a cui bisogna scendere perchè sia satura è ciò che indica lo stato igrometrico dell'aria. Quanto più conviene abbassare la temperatura dell'aria per ridurla satura, tanto più l'aria è asciutta; ed è tanto più umida quanto più questi due punti di temperatura sono vicini. Per determinare la temperatura a cui l'aria divien satura di vapore si prende un vaso di vetro in cui si pone dell'acqua alla temperatura dell'ambiente, e vi s'immerge un termometro. Si aggiungono all'acqua alcuni pezzi di ghiaccio, e si osserva in distanza quando il vetro comincia ad appannarsi, cioè a dire a coprirsi di un velo di acqua. In quel momento si osserva il termometro e si nota la temperatura. Questa temperatura è quella a cui l'aria divien satura di vapore, e dicesi *punto di rugiada*. Stabilita questa temperatura si trova nelle tavole che danno il rapporto fra le temperature, le forze elastiche e le densità massime del vapore acqueo, la tensione corrispondente: questa tensione è quella stessa che ha il vapore nell'aria non raffreddata. Difatti il raffreddamento di questo miscuglio d'aria e di vapore preso in mezzo all'atmosfera non fa che accrescerne le densità, diminuirne i volumi, senza che la tensione del miscuglio, equivalente sempre alla pressione barometrica, e le tensioni rispet-

tive del vapore e dell'aria possano variare. Si sa dalla tensione massima del vapore corrispondente alla temperatura della condensazione qual'è la sua densità, e quindi qual'è il peso totale del vapore contenuto in un dato volume d'aria. Il punto di rugiada c'indica adunque la quantità del vapore d'acqua contenuto nell'aria nel momento dell'osservazione; ma questo elemento non basta per mostrare distintamente lo stato igrometrico dell'aria. Nell'inverno l'aria è spesso umidissima, mentre sarebbe secchissima in estate se contenesse la stessa quantità di vapore, poichè sappiamo che la quantità del vapore acqueo capace di saturare un dato volume d'aria, cresce proporzionalmente alla temperatura. Se dunque il punto di rugiada c'insegna qual'è la *quantità assoluta del vapor d'acqua* contenuto nell'aria, la differenza fra esso e la temperatura dell'aria c'indicherà la quantità relativa del vapor d'acqua o l'umidità dell'aria. Per determinare questo rapporto si nota la quantità di vapore che l'aria conterrebbe al momento dell'osservazione se fosse satura, e si divide per questo numero la quantità che v'è realmente contenuta. Il quoziente ci esprime lo stato igrometrico dell'aria. Ma poichè le tensioni, a temperature eguali, sono proporzionali alle densità o ai pesi del vapore contenuto in un determinato volume, egli è chiaro che il grado di umidità dell'aria, può anche essere espresso dal rapporto fra la forza elastica massima del vapor d'acqua alla temperatura del punto di rugiada, e la sua forza elastica massima alla temperatura dell'aria durante l'esperienza. Supponiamo che ad una temperatura di $28^{\circ}, 4$, il punto di rugiada segni $12^{\circ}, 1$; la tensione massima corrispondente è di $11^{\text{mm}}, 24$: se l'aria fosse satura, a $28^{\circ}, 4$, la tensione corrispondente del vapore sarebbe di $29^{\text{mm}}, 63$; dunque lo stato igrometrico dell'aria sarà espresso dalla frazione $\frac{11,24}{29,63}$.

Moltiplicando per 100 si ha, quanto per cento della quantità di vapor d'acqua che l'aria conterrebbe se fosse satura, è contenuto nella medesima al momento dell'osservazione. Nelle condizioni supposte, si avrebbe circa 38 per cento.

L'igrometro di Daniell è il più usato nelle ricerche igrometriche fondate sul metodo che abbiamo ora indicato. Con-

siste in due palle di vetro *a* e *b*, riunite (*Tav. VII, Fig. 203*), da un tubo doppiamente ripiegato. Una di queste palle contiene dell'etere; essa è annerita per lasciare meglio scorgere il punto in cui s'appanna. Nel suo centro v'ha un termometro, di cui la scala *c* è nel tubo. L'altra palla *a* è vuota, ed è terminata da una punta che fu necessaria per far bollir l'etere e cacciare l'aria prima di chiudere il tubo. L'apparecchio è sostenuto sopra una colonna *hg*, che porta un altro termometro *kl*. Si comincia l'osservazione bagnando d'etere la palla *a*, che è perciò coperta di una tela sottile. L'etere si evapora, raffredda la palla, ed il vapore che contiene si condensa. Allora si forma nuovo vapore dall'etere che è in *b*, e quindi anche questa palla si raffredda. Così raffreddasi anche l'aria che la circonda, ed il termometro *d* indica la temperatura a cui il vapore dell'aria vi si depona in rugiada. Vi sono anche altri igrometri a *condensazione*; ma il migliore è quello descritto.

Gli accademici del Cimento, nel secolo XVII, si servirono dello stesso principio per costruire un istrumento che indicasse la maggiore o minore umidità dell'aria; ma in quel tempo la teorica dell'evaporazione era ignota, e il loro apparecchio non era un igrometro, ma un semplice igroscopio. Consisteva in un vaso di forma conica rivolto col vertice in basso e riempito di ghiaccio sminuzzato o di neve. Il vapore acqueo diffuso nell'aria, si depositava pel raffreddamento sulle pareti esterne del vaso, e in tal guisa condensatosi veniva a sgocciolare per la punta del vaso in un recipiente sottoposto. Dalla frequenza delle gocce, o dalla quantità d'acqua raccolta in un dato tempo, si desumeva lo stato d'umidità dell'aria.

Un altro metodo per la ricerca dello stato igrometrico dell'aria si fonda sui cambiamenti di forma o di dimensioni che l'umidità fa provare a certe sostanze organiche. Si sono perciò costruiti igrometri con molte sostanze di questa natura, ma il più esatto, e quindi il più adoprato, si è quello a *capello*, di *Saussure*. Questo istrumento è basato sull'allungamento che subisce un capello nello assorbire il vapore acqueo. Si rende il capello sensibile alle variazioni anche piccole di umidità, spogliandolo della parte grassa che contiene col tenerlo in una soluzione leggermente alcalina. Così preparato un capello si

allunga passando dall'estremo secco alla massima umidità di $\frac{1}{10}$ circa della sua lunghezza. Si fissa il capello ad una estremità in una pinzetta *a* (Tab. VII, Fig. 204), l'altra è avvolta e fissa intorno al solco di una piccola puleggia *b* mobilissima, la quale porta un indice *mn* che segna i suoi movimenti sul quadrante *pq*. Un piccolo peso di 2 a 3 grani attaccato ad un filo di seta, che è pure fissato e avvolto intorno al solco della carrucola, tende a stirare il capello. È chiaro che all'allungarsi e all'accorciarsi del capello l'ago si muoverà sul quadrante.

Ecco il metodo indicato da Saussure per graduare questo strumento. Si colloca prima sotto una campana in cui s'è posto o del cloruro di calcio o della calce viva o dell'acido solforico, e vi si lascia fintanto che l'ago non ha preso una posizione fissa. Se l'ago conserva questa posizione per lo spazio di due o tre giorni si può esser sicuri che l'aria della campana è completamente asciutta, e che il punto del quadrante in cui è rimasto l'ago è quello della massima siccità: ivi si segna 0°. Allora si pone l'igrometro sotto una campana, le cui pareti sono bagnate, e che riposa sopra un bagno d'acqua. Dopo poche ore l'ago si fissa in un altro punto in cui si segna 100°, che è il grado della massima umidità. Questo intervallo si divide in 100 parti eguali. Quando l'istrumento è costruito con la cura necessaria, le sue indicazioni si corrispondono in tutte le circostanze; esso è comparabile. L'esperienza ha provato che il capello dell'igrometro di Saussure, a qualunque temperatura si trovi l'aria, assorbe sempre la stessa quantità di vapore quando questa è satura, e rende totalmente l'umidità assorbita all'aria perfettamente secca, cosicchè si è certi, che l'igrometro di Saussure indica in qualunque circostanza il massimo di umidità dell'aria, come pure il massimo di sua siccità. Non è però così dei gradi intermedj, i quali non sono proporzionali agli stati igrometrici dell'aria. Sono però state fatte delle tavole nelle quali sono indicati i rapporti fra i gradi dell'igrometro di Saussure e quelli dell'umidità atmosferica. Per trovare le tensioni del vapore che corrispondono ai diversi gradi dell'igrometro, conveniva cercarle per ogni temperatura. Gay-Lussac ha dato una tavola di que-

sto genere per le temperature di 10°; Melloni ne ha calcolata una per la temperatura di 22° ai 23°; Biot per altre.

È assai semplice il modo col quale sono ottenute queste scale. Il vapore acqueo formato da diverse soluzioni saline ha una tensione diversa, e sempre minore di quello formato dall'acqua pura. Per mezzo del barometro si possono determinare le tensioni diverse che sono prodotte dal vapore acqueo formato dalle varie soluzioni saline. Basta introdurre queste soluzioni nel vuoto barometrico ed osservare le depressioni che si producono. Con queste soluzioni medesime si può empiricamente di vapore d'acqua una campana in cui s'è posto l'igrometro; il quale perciò vi segnerà i gradi intermedi fra 0° e 100°. Ecco la tavola di Gay-Lussac per la temperatura di 10°. A questa temperatura la tensione massima del vapore acqueo è di 9^{mm},49, e nella scala di Gay-Lussac è indicata con 100°. È chiaro che la tensione di 7^{mm}, 5, dovrà essere indicata con 79,1. Essa corrisponde al 90° dello igrometro di Saussure.

Gradi dell'igrometro.	Tensione o densità del vapore.
100.....	100 -
90.....	79,2
80.....	61,2
70.....	47,2
60.....	36,3
50.....	27,8
40.....	20,8
30.....	14,8
20.....	9,5
10.....	4,6
	0

Questa tavola è inutile quando coll'igrometro di Saussure non si vuole esattamente conoscere lo stato igrometrico dell'aria, ma soltanto se dessa è più o meno umida.

Molti altri sono i processi igrometrici immaginati dai fisici. Leslie si è servito del freddo prodotto dall'evaporazione, il quale è tanto più intenso quanto questa è più rapida, e quanto più secca è l'atmosfera. V'ha dunque un certo rapporto tra la

forza elastica del vapore che esiste nell'aria, ed il raffreddamento che deve provare la bolla di un termometro convenientemente bagnato. Si possono adunque comporre delle tavole che esprimano questo rapporto e che permettano di dedurre la forza elastica del vapore, cioè a dire lo stato igrometrico dell'aria, mediante l'abbassamento di temperatura che osservasi nel termometro bagnato. L'igrometro di Leslie è una specie di termometro differenziale, in cui uno dei bulbi è ricoperto di un panno che s'impregna di un liquido volatile.

Sopra lo stesso principio è fondato un igrometro di recente invenzione, che è stato con successo impiegato dal celebre naturalista De Humboldt. Esso è dovuto ad August di Berlino, e conoscesi col nome di *Psicometro*. Si compone di due termometri perfettamente simili (Tav. VII, Fig. 205), situati in gran vicinanza l'uno all'altro; uno di essi ha il bulbo ricoperto da tela fine, dalla quale partono alcuni fili che immergonsi in un piccolo recipiente pieno di acqua distillata. L'azione capillare e la gravità conducono continuamente sull'involuppo di tela una certa quantità d'acqua, la quale può facilmente regolarsi in guisa che resti sempre compensata quella porzione che si perde coll'evaporazione. Il termometro nudo indica la temperatura dell'aria; il termometro umido ci dà la temperatura prodotta dall'evaporazione, e per mezzo delle tavole se ne deduce la forza elastica del vapore contenuto nell'aria. La differenza delle temperature indicate dai due termometri può essere di varj gradi, e perfino di 8° o 10° se l'aria è estremamente asciutta; ma è nulla nell'aria satura di umidità, giacchè allora non può farsi l'evaporazione sul termometro umido.

Si potrebbe credere che il vento accelerando l'evaporazione producesse un maggior raffreddamento, e quindi fosse causa d'errore; ma è da osservarsi che mentre da un canto l'agitazione dell'aria raffredda il termometro, dall'altro lo riscalda col suo contatto rinnovato, e l'esperienza dimostra che un effetto compensa quasi intieramente l'altro.

L'August indica la seguente formola come atta a darci la tensione del vapore acquoso nel momento dell'osservazione. Chiamando T questa tensione si ha

$$T = e' - 0,00084 (t - t') b$$

in cui t rappresenta la temperatura del termometro asciutto. t' quella del termometro umido, ambedue centigradi, b l'altezza del barometro in millimetri ed e' la tensione del vapore alla temperatura t' . Se la temperatura del termometro scende sotto lo zero, ed il bulbo si copre di un sottile strato di ghiaccio, la formola diviene la seguente;

$$T = e' - 0,000748 (t - t') b.$$

La maggior parte delle osservazioni igrometriche sono state fatte coll'igrometro di Saussure. Questo istrumento segna ordinariamente 60° , e non scende mai al di sotto di 30° . Ciò significa che l'aria contiene in generale circa $\frac{1}{10}$ del vapor acqueo che può contenere. Si è parimente osservato che la saturazione non è mai completa anche dopo una gran pioggia, e la lancetta non oltrepassa i 95° , che corrisponde a 0,9 di umidità. Nella maggior siccità l'aria conserva ancora circa $\frac{1}{4}$ del vapore necessario a saturarla, imperocchè alla superficie della terra, mai scende l'igrometro al di sotto di 30° . Nel suo viaggio aereostatico il Gay-Lussac, all'altezza di 6000 metri vide l'igrometro a 26° , e quindi il grado dell'umidità era soltanto $\frac{1}{4}$. Sulla cima delle Alpi il Saussure non vide mai l'igrometro al di sopra di 40° , donde si deduce che a quell'altezza non contiene la quarta parte della umidità che potrebbe contenere.

Dobbiamo però osservare che i risultati ottenuti per mezzo dell'igrometro di Saussure debbono soltanto ritenersi come approssimativi, anche quando le indicazioni del medesimo sono state corrette per mezzo delle tavole che stabiliscono il rapporto fra i suoi gradi e le tensioni del vapore. Infatti il modo di agire di questo istrumento è complicato dalle variazioni di temperature, ed inoltre consta da una serie di attente osservazioni che il capello impiega un tempo assai lungo a porsi in equilibrio colla umidità dell'atmosfera.

Quanto all'uso degli altri igrometri diremo, che quello di Daniell, quantunque fondato sopra esatti principj, richiede molta abilità nell'osservatore ed un tempo assai lungo per ogni osservazione. Inoltre ha l'inconveniente di non dare delle indicazioni continue. Sembra adunque che lo psicometro di August sia quello che riunisca i maggiori pregi.

Applicazioni del vapore. — Impiego del vapore come forza motrice. Il vapor d'acqua è uno dei più potenti e più preziosi motori che si posseggano; non solo perchè gli si può dare quel grado d'intensità che si vuole, ma ben anco perchè si può fare agire dovunque e perfino sulle macchine di cui produce il movimento, come le carrozze e le navi.

Devesi ad Erone, celebre fisico di Alessandria, nato circa 120 anni prima di Gesù Cristo, la prima idea di adoprare il vapor d'acqua come forza motrice; ma egli si servì soltanto della reazione proveniente dal suo efflusso. Nel 1628 Branca, matematico italiano indicò l'uso della forza diretta proveniente dallo sgorgo del vapore, e nel 1615 Salomone di Caus, ingegnere francese, adoprò la pressione diretta del vapore sopra un liquido per sollevarlo. Nel 1687, Papin immaginò le macchine a stantuffo. Verso il principio del diciottesimo secolo Newcomen e Cawley, ingegneri inglesi, costruirono la prima macchina a stantuffo che fosse adoprata ad usi industriali. Ma i perfezionamenti più importanti fatti alle macchine a vapore, furono immaginati da Giacomo Watt, dimodochè egli è a questo sommo ingegno che siamo veramente debitori delle macchine le più utili e le più potenti che sieno mai state inventate.

La natura del nostro corso non ci permette di entrare in tutti i dettagli della costruzione delle macchine a vapore; ma ci limiteremo a indicare i principj dei differenti metodi che possono impiegarsi per far muovere delle macchine col mezzo del vapore, e descriveremo succintamente le caldaje a vapore, una delle macchine fisse più in uso, ed una macchina locomotiva.

1.° Principj generali delle macchine a vapore. Il metodo che sembra il più semplice e il più diretto per impiegare il vapore come forza motrice consiste (*Tav. VII, Fig. 206*) in una caldaja *A* piena d'acqua, e chiusa da un coperchio fornito di un tubo, che va a sboccare presso la circonferenza di una ruota a palette *MN*. S'intende facilmente che il vapore sortendo dall'orifizio *o*, urta le palette della ruota, con una forza dipendente dalla velocità e dalla densità del vapore, e la fa girare; questo movimento di rotazione può essere allora trasformato in un altro qualunque movimento. Questa fu l'idea

del Branca, ma non ha mai ricevuto applicazioni importanti malgrado la sua semplicità, a motivo del poco effetto utile prodotto dal vapore.

Il vapore può essere anche impiegato per reazione, come nella macchina rappresentata dalla *Tav. VII, Fig. 207*. *A* è una sfera metallica mobile intorno a due tubi *ab* ed *ab'*, le cui estremità riunite comunicano con una caldaja a vapore *M*; la sfera è fornita di due o di un maggior numero di tubi *mn*, diretti perpendicolarmente all'asse di rotazione, e forati da uno stesso lato da dei piccoli orifizj laterali *o*, *o'*. Il vapore che formasi nella caldaja passa nella sfera e fuggendo dagli orifizj *o*, *o'*, la fa girare in senso contrario dello scola. Questa è la macchina immaginata da Erone un secolo prima dell'Era volgare, ed è quindi la prima in cui il vapore siasi impiegato come forza motrice. Anche questa macchina, per le stesse ragioni della precedente, è rimasta senza usi.

La prima idea delle macchine fondate sulla forza elastica del vapore è dovuta a Salomone di Caus, il quale immaginò di servirsi di questa forza per far salire l'acqua ad un'altezza considerevole. Il suo apparecchio è rappresentato nella *Tav. VII, Fig. 208*. *AA'* è un tubo comunicante con una caldaja a vapore, e con un cilindro *BB* ermeticamente chiuso; *CC* è un canale unito al fondo del cilindro *B*, contenente una valvola *m* che apresi dal basso all'alto, ed immerso nell'acqua che devesi inalzare; *DD* è un altro canale, che parte dal fondo del vaso *B* e si prolunga fino al serbatojo *E*, in cui l'acqua dev'essere inalzata: esso contiene una valvola *n*, che si apre dal basso all'alto; infine *GG* è un piccolo tubo destinato a condurre dell'acqua fredda dal serbatojo *E* nel cilindro *B*. Se, girando il robinetto *a*, si permette al vapore di entrare nel cilindro *B*, il vapore scaccerà l'aria, la quale uscirà dal canale *DD*; se poi si chiude il robinetto *a*, e si apre per pochi momenti il robinetto d'iniezione *b*, il vapore si condenserà, la valvola *m* si aprirà, e il cilindro *B* si riempirà d'acqua; allora aprendo nuovamente il robinetto d'introduzione, la pressione del vapore sull'acqua costringerà questa a sollevarsi nel tubo *DD*, ed a passare nel serbatojo *E*, purchè la tensione del vapore sia sufficiente.

Tutte le macchine che sono impiegate oggidì sono fondate, non sull'effetto derivante dallo sgorgo del vapore, ma sulla sua forza elastica. Per bene intendere l'effetto di questa forza elastica, immaginiamo una caldaja a vapore *A* sormontata da un cilindro metallico *MNPQ*, nel quale si muove uno stantuffo *x* (*Tab. VII, Fig. 209*). La parte inferiore del cilindro comunica colla caldaja per mezzo di un tubo fornito di un robinetto *R*, e per mezzo di un altro robinetto *R'* si può mettere la cavità interna del cilindro in comunicazione coll'aria. Lo stantuffo, essendo all'estremità inferiore della sua corsa, ed il vapore della caldaja essendo ad una temperatura superiore a quella della sua ebullizione nell'aria libera, supponiamo che si apra il robinetto *R*, essendo chiuso il robinetto *R'*: il vapore premerà di basso in alto la superficie inferiore dello stantuffo, e questa pressione essendo maggiore di quella che l'aria esercita sulla superficie superiore, lo stantuffo salirà con una forza eguale alla differenza delle pressioni che agiscono sulle due facce. Per esempio, se il vapore nella caldaja fosse a 122° , la forza elastica del vapore sarebbe di due atmosfere, ogni centimetro quadro dello stantuffo sarebbe premuto da una forza eguale a chilog. 1,03; conseguentemente se avesse un metro di superficie, la forza d'ascensione sarebbe di 10,300 chilogrammi. Supponiamo ora che lo stantuffo essendo giunto alla sommità del cilindro, si chiuda il robinetto *R* e si apra il robinetto *R'*; il vapore chiuso nel cilindro sortirà nell'aria, si dilaterà, e prenderà in pochi istanti una forza elastica eguale a quella dell'atmosfera; allora lo stantuffo in virtù del proprio peso, ritornerà nella primitiva posizione. Aprendo nuovamente il robinetto *R* e chiudendo il robinetto *R'*, si produrrà una nuova ascensione dello stantuffo, e per un moto contrario dei robinetti una nuova discesa; perciò si darà all'asta dello stantuffo un movimento in su e in giù, che potrà trasformarsi in un moto circolare o di un'altra natura.

Tale fu la macchina a stantuffo immaginata dal Papin; ma siffatta disposizione, ha un inconveniente grave: la forza colla quale lo stantuffo sale e discende non è la stessa. Si potrebbe rendere eguale caricando lo stantuffo di un peso tale che diminuissse la forza ascensionale di quanto aumentasse la forza

della caduta. Si può anche ottenere lo stesso effetto facendo agire successivamente il vapore al di sopra e al di sotto dello stantuffo, per mezzo di una disposizione dell'apparecchio che è rappresentata dalla *Tav. VII, Fig. 210*. Il cilindro *MNPQ* è esattamente chiuso; ma onde il movimento dello stantuffo possa comunicarsi al di fuori, l'asta del medesimo passa per una ghiera in cui scorre a sfregamento, e che è fissa nella parte superiore del cilindro. È facile osservare che se apronsi contemporaneamente i robinetti *R* ed *r*, il vapore s'introdurrà al di sotto dello stantuffo e lo farà salire, mentre l'aria rinchiusa nel cilindro al di sopra dello stantuffo sortirà dal robinetto *r*; e se chiudesi questo robinetto, quando lo stantuffo sarà giunto all'estremità della sua corsa, e nel tempo stesso apronsi i robinetti *R'* ed *r'*, lo stantuffo discenderà con una forza che non differirà da quella che lo ha fatto salire, che del solo peso dello stantuffo. Per evitare la cura che esigono i movimenti dei quattro robinetti si riducono a un solo, come nella *Tav. VII, Fig. 211*. Il vapore giunge dalla caldaja pel canale *ab*, entra in una cassetta circolare in cui sboccano i due canali destinati a condurre il vapore al di sopra e al di sotto, e un piccolo tubo laterale che sbocca al di fuori. Questa scatola riceve un pezzo analogo alla chiave di un robinetto, incavato in modo da porre in comunicazione il condotto *ab* con uno dei canali *c* o *d* e l'altro coll'orifizio *e*. Allora pel solo movimento d'un'asta *k* fissa a questa chiave s'introduce il vapore sopra una delle facce del cilindro, e si fa sortire quello che si era accumulato sull'altra.

Le varie disposizioni di cui abbiamo parlato esigono necessariamente che il vapore abbia una tensione molto superiore a quella dell'atmosfera; ma si è giunti a produrre lo stesso effetto in un modo diverso, facendo uso del vapore ad una temperatura poco superiore a 100°. Il cilindro *MNPQ* è aperto nella sua parte superiore; e la sua parte inferiore comunica colla caldaja a vapore, e per mezzo di un tubo fornito di robinetto con un serbatoio di acqua fredda *xy* (*Tav. VII, Fig. 212*). Lo stantuffo essendo all'estremità inferiore della sua corsa, se apresi il robinetto *R*, il vapore penetrando sotto lo stantuffo lo inalzerà, supponendo che la pressione del vapore superi quella

dell'atmosfera e tutto il peso dello stantuffo; o che nel caso contrario lo stantuffo tenda a sollevarsi per un contrappeso. Lo stantuffo essendo giunto alla sommità del cilindro, se chiudesi il robinetto R ed apresi il robinetto R' , durante un tempo cortissimo, l'acqua fredda introdotta condenserà il vapore, e la pressione dell'atmosfera ricondurrà lo stantuffo alla sua posizione iniziale. È per questa ragione che siffatta macchina ha ricevuto il nome di *macchina atmosferica*. Si può con questa macchina ottenere, come nel caso precedente, un movimento alternativo dello stantuffo: ma v'ha qui pure l'inconveniente d'una forza molto ineguale nei due movimenti dello stantuffo, ed inoltre sono necessarie delle convenienti disposizioni per togliere dal cilindro l'acqua d'iniezione e l'aria che il vapore trascina con sè, e che accumulandosi finirebbe coll'impedire alla macchina di funzionare. Per evitare il primo inconveniente si può impiegare un contrappeso o due apparecchi, che agendo alternativamente alle due estremità di un bilanciere producano in questo dei moti capaci dello stesso effetto; ma si evita questa complicazione con un metodo analogo a quello della figura 213 introducendo e condensando alternativamente il vapore al di sopra e al di sotto dello stantuffo. Per evitare il raffreddamento del cilindro, dovuto all'iniezione, la condensazione si effettua in un cilindro separato, che è distinto col nome di *condensatore*, da cui si toglie l'acqua e l'aria per mezzo di una pompa, che riceve il suo movimento da quello dell'asta dello stantuffo, e che dicesi *pompa d'aria*. Ecco come è disposto questo apparato.

Il cilindro $MNPQ$ (Tav. VII, Fig. 213) intieramente chiuso è in comunicazione colle sue due estremità col canale ab , che conduce il vapore della caldaja, per mezzo dei due condotti cd ed ef ; la cassetta circolare dove sboccano questi tre canali è guarnita d'un quarto canale gh , che comunica con un cilindro chiuso $xyzt$; quest'ultimo comunica con un serbatoio d'acqua fredda $mnpq$ e con una pompa aspirante su , lo stantuffo della quale è posto in moto dal bilanciere AB , all'estremità A del quale è fissa l'asta dello stantuffo, e di cui l'altra estremità produce il moto che la macchina deve compiere. Girando convenientemente l'asta k , si fa giungere il vapore al di sopra o al

di sotto dello stantuffo, e si pone l'altra parte del cilindro in comunicazione col condensatore, ove il vapore si precipita e si condensa; perciò pel solo movimento alternativo dell'asta *K* si produce il movimento della macchina.

Fin qui si è supposto che il robinetto d'introduzione del vapore restasse aperto durante l'intero movimento dello stantuffo, e conseguentemente che durante questo movimento la forza elastica del vapore restasse costante ed eguale a quella del vapore della caldaja; ma l'esperienza ha dimostrato che era vantaggioso chiudere questo robinetto prima del termine della corsa, la quale allora termina per la elasticità o per lo scatto del vapore già introdotto nel cilindro.

Da quanto precede vedesi che le macchine a vapore possono essere a *semplice* o a *doppio effetto*, secondo che il vapore agisce da un sol lato dello stantuffo o da ambedue, che possono essere ad *alta* o a *bassa pressione*, a *condensazione* o *senza*, ad *un solo* o a *varj cilindri*, a *scatto* o *senza*: da ciò un grandissimo numero di differenti specie di macchine.

Le macchine atmosferiche furono inventate da Newcomen e Cawley, e malgrado i loro difetti sono anche oggidì in uso in varie miniere d'Inghilterra, in cui il carbon fossile è a basso prezzo.

I perfezionamenti più importanti dovuti al celebre Watt sono i seguenti: 1.^o la condensazione del vapore in un recipiente distinto; 2.^o la pompa d'aria; 3.^o le macchine a doppio effetto; 4.^o lo scatto. Dopo Watt, Woolf ed altri meccanici costruirono delle macchine ad alta pressione senza condensazione, destinate a mettere in movimento delle vetture, o ad altri usi pei luoghi in cui non si può avere a disposizione la quantità d'acqua necessaria alla condensazione.

L'applicazione del vapore alla navigazione data dai primi anni del secolo attuale. Fulton, in America fu il primo a costruire dei battelli a vapore: poco appresso divennero di un uso generale. Quanto alle carrozze a vapore, o locomotive, anche di queste ne furono costruite alcune, assai imperfette, nei primi anni di questo secolo; ma soltanto nel 1829 furono rese atte a percorrere le strade ferrate con carichi pesantissimi e con una velocità molto superiore a quella dei cavalli. È a

Giorgio Stephenson che è dovuta questa gloria. L'apertura del cammino di ferro tra Liverpool e Manchester, nel Settembre del 1830, apprese al mondo quali prodigi potevano aspettarsi dalle locomotive a vapore.

2.^o *Delle caldaje a vapore.* Le caldaje destinate a produrre il vapore sono di lamiera, di ghisa o di rame, e si dà loro un gran numero di forme diverse. Noi non possiamo qui far conoscere tutte le forme delle caldaje a vapore, ma descriveremo la *caldaja a bollitori*, che è generalmente adottata per le macchine fisse, e la *caldaja tubulare* adottata con vantaggio pei bastimenti.

Caldaja a bollitori. Questa caldaja è rappresentata nelle sue sezioni longitudinale e trasversale dalle figure 214 e 215 della Tavola VII. Si compone del corpo della caldaja *a*, che è un lungo cilindro terminato da due calotte emisferiche, e di due bollitori *bb'*, di cui le estremità anteriori riposano sui mattoni del forno; ogni bollitore comunica col corpo della caldaja per mezzo di due o tre larghe tubulature *c*. L'acqua riempie completamente i bollitori, ed il suo livello dev'essere mantenuto verso la metà dell'altezza della caldaja, e di ciò rende sicuri il tubo di livello *d*, nel quale sboccano due tubi orizzontali, l'uno in alto che comunica col vapore, l'altro in basso che comunica coll'acqua. Questa disposizione permette di dare un'assai grande profondità ed una considerevole superficie alla caldaja, senza adoprare una massa troppo grande di acqua, la quale porterebbe un dispendio troppo considerevole di combustibile. Il vapore formatosi fugge dal grosso tubo *e*. L'acqua di alimentazione spinta dalla pompa alimentare giunge pel tubo *f*, che non deve sboccare nel vapore stesso, ma penetrare nell'acqua fin presso il fondo della caldaja, onde non distruggere colla condensazione il vapore formatosi.

Il combustibile che serve al riscaldamento della caldaja è gettato sulla gratella *g* dalla porta *h*, la quale non si apre che al momento della sua introduzione; l'aria giunge dal ceneratoio *i*, passa tra le sbarre della gratella e determina un'attiva combustione; la fiamma s'insinua nel condotto *k* sotto i bollitori, si ripiega contro la volta *l*, prende il condotto interno *m*, perchè l'intervallo compreso fra le tubulature di ogni bollitore è chiuso con dei mattoni, scalda così la parte superiore dei

bollitori e il fondo stesso della caldaja: giunta verso la estremità anteriore della caldaja, si separa in due parti, l'una che prende a diritta il condotto esterno n , e l'altra che prende a sinistra il condotto esterno n' (*Tav. VII, Fig. 215*): è in questa guisa che le pareti laterali della caldaja sono esse stesse scaldate in tutta l'altezza che è al di sotto del livello dell'acqua; infine giunta all'estremità della caldaja, la fiamma passa nel camino, dov'è aspirata. Il registro o serve a regolare l'attività della combustione.

Il vapore accumulato al di sopra dell'acqua nella caldaja impedirebbe l'ebullizione se avesse sempre una tensione eguale a quella del vapore che tende a formarsi; ma è nel mentre che il vapore fugge con rapidità verso i cilindri della macchina. per agire sugli stantuffi, che si fa l'ebullizione dell'acqua. Il vapore si forma prima nei bollitori, siccome i più riscaldati, e traversa tutta l'acqua della caldaja per andare a rimpiazzare quello che è sortito. Conseguentemente se la pressione fosse subito assai considerevolmente diminuita, l'enorme volume di vapore che tenderebbe a formarsi istantaneamente potrebbe slanciare l'acqua della caldaja nel tubo di uscita ed anche nei cilindri della macchina. Si evita questo inconveniente dando una adattata grandezza allo spazio della caldaja che deve rimaner pieno di vapore, e che è detto *camera del vapore*. Importa anche moltissimo che le tubulature dei bollitori sieno abbastanza larghe, onde il vapore possa liberamente uscire attraverso di esse; perchè è stato osservato che essendo strette, il vapore ascendendo nell'acqua con molta lentezza, vi si accumulerebbe e impedirebbe all'acqua della caldaja di scendere nei bollitori, i quali ben presto rimarrebbero vuoti e diverrebbero roventi; per cui quando per qualche causa l'acqua venisse a ricadere dentro di essi vi sarebbe sicuramente un'esplosione. V'è pure un simile pericolo d'esplosione, se il livello dell'acqua si abbassa di troppo nella caldaja. Quando si ristabilisce il livello con un'alimentazione più attiva, le pareti eccessivamente riscaldate potrebbero dare istantaneamente una massa troppo grande di vapore. Un'altra causa di esplosione consiste nelle incrostazioni di materie calcaree che formansi intorno alle pareti delle caldaje in grazia dei sali cal-

carei contenuti nell'acqua, e che depositansi durante la sua ebullizione. Queste incrostazioni lasciano malamente passare il calore, per cui si è allora costretti di riscaldare maggiormente, ed il metallo si arroventa. Se allora accade che la incrostazione si screpoli o si stacchi, l'acqua viene al contatto di una superficie rovente, e l'esplosione è imminente.

L'eccessivo riscaldamento accidentale delle pareti è dunque molto da temersi nelle caldaje a vapore, sia che provenga da una imperfetta circolazione dell'acqua, sia dall'abbassamento di livello, sia da un'incrostazione. È desso la causa d'esplosione la più temibile.

V'ha per altro un'altra causa di esplosione, voglio dire *l'eccessivo riscaldamento generale*, il quale dipende da un accrescimento lento e progressivo di temperatura in tutta la massa del liquido, quando il fuoco è troppo attivo, o quando si forma molto più vapore di quello che è consumato. Allora v'ha bentosto un eccesso di pressione, al quale possono cedere le parti della caldaja naturalmente più deboli, ovvero indebolite dall'uso, dall'ossidazione o da qualche altra causa. Si ripara a questa causa di esplosione, ovvero si giunge ad essere avvertiti in tempo per ripararvi, mediante gli apparecchi di sicurezza che andiamo ad accennare.

Apparecchi di sicurezza. Il termometro, il manometro e la valvola di sicurezza sono i mezzi di sicurezza che servono ad evitare l'esplosione proveniente da un *generale eccessivo riscaldamento*. Il termometro indicando la temperatura, indica parimente quale è la tensione del vapore, perchè sulla scala dei gradi stanno scritte le pressioni corrispondenti in atmosfere. Per questa ragione chiamasi anche *termo-manometro*. Il manometro fa conoscere direttamente la pressione del vapore, e può essere ad aria libera o ad aria compressa. Le *valvole di sicurezza* sono variabilissime nelle loro forme e nelle loro dimensioni: talora hanno la forma di cilindri o di coni troncati; talora sono semplici piani che si adattano in un modo esattissimo sulle pareti degli orifizj (*Fig. 216, Tav. VII*). In tutti i casi devono chiudere esattamente fino all'istante in cui sono sollevate. Esse devono esser premute dal di fuori in dentro da una molla o da un peso la cui forza eguagli la pressione che il vapore

esercita dall'interno all'esterno, alla temperatura che non si vuole oltrepassare. Per poco che la temperatura ecceda questo limite, la valvola vien sollevata, il vapore fugge, e la forza elastica di quello che si forma nella caldaja diviene stazionaria. Ordinariamente le valvole delle caldaje delle macchine a vapore sono premute per mezzo di una leva mobile intorno ad una sua estremità, che appoggiasi sulla valvola colla sua parte media, e di cui l'altra estremità è carica di un peso di cui si fa variare l'effetto cambiando la sua posizione sull'asta.

La sezione della valvola di sicurezza deve dipendere dalla estensione della superficie riscaldata, e le deve essere proporzionale, giacchè una superficie doppia producendo nello stesso tempo e sotto le stesse condizioni una quantità doppia di vapore, fa d'uopo un orifizio doppio per darle adito quando ha insieme la stessa densità e la stessa pressione. Siccome le leggi dell'efflusso dei fluidi elastici sottoposti a pressioni considerevoli, non sono che imperfettamente conosciute, è stato necessario far delle esperienze dirette sulla velocità di scolo del vapore, nelle varie condizioni che possono presentare le caldaje, onde proporzionare l'orifizio delle valvole alla grandezza delle caldaje, affinchè possa uscire dal medesimo tutto il vapore che si è formato sotto la pressione alla quale la valvola si è sollevata. Queste esperienze hanno dimostrato, che è necessario, per un metro di superficie riscaldata, che le valvole abbiano le dimensioni seguenti, secondo le varie pressioni:

Pressioni in atmosfere 1, 2, 3, 4, 5, 6.

Diametro delle valvole, centimetri 2,063, 1,616,
4,372, 1,214, 1,100.

Date queste dimensioni per un metro di superficie di riscaldamento, è facile trovar quelle che corrispondono ad una superficie di 10, 20 o 25 metri. Per 25 metri, per esempio, i diametri delle valvole dovranno essere cinque volte più grandi, poichè le sezioni stanno fra loro come i quadrati dei diametri. Per due atmosfere il diametro della valvola sarebbe dunque 10,315, cioè a dire 10 centimetri e $\frac{1}{2}$; per 6, solamente 3 centimetri e $\frac{1}{2}$. Si potrebbe credere che queste determinazioni non fossero necessarie, e che non vi fosse alcun danno a porre

da per tutto delle valvole molto larghe; ma fa d'uopo considerare, che se si mettesse sopra una caldaja una valvola di un diametro troppo grande, nell'istante in cui si aprisse per un eccesso di pressione, il liquido si slancerebbe con grande impeto contro le pareti della caldaja, e potrebbe cagionare appunto i danni stessi che vogliansi evitare.

In quanto alla disposizione della leva che porta il peso di pressione, bisogna osservare, che essa gira attorno ad un asse che è appunto sulla stessa linea orizzontale della testa della valvola. Perciò il peso che agisce all'estremità della leva produce tutto il suo effetto. Se si tratta per es. di una caldaja di 30 metri quadri di superficie di riscaldamento, che debba sopportare sei atmosfere, il diametro della valvola dev'essere di 6 centimetri, la sua superficie di $28,26$, e bisogna aggiungere sulla valvola un peso equivalente a 5 atmosfere, poichè la pressione dell'aria costituisce già un'atmosfera; questo peso è dunque $5 \times 1^{\text{chilgr.}},033 = \text{chilgr.}^1 5,165$ per centimetro quadrato, o 141 chilogrammi per centim.² $28,26$: la testa della valvola, essendo per esempio a un decimetro dal punto fisso, ed il punto di pressione del peso a 5 decimetri, saranno chilogr.¹ $28,2$ che bisognerà applicare alla valvola, dopo aver però sottratto il peso della valvola stessa.

I tre mezzi di sicurezza di cui abbiamo parlato, cioè il termometro, il manometro, e le valvole di sicurezza, possono essere efficaci a prevenire le esplosioni dovute ad un eccessivo generale riscaldamento, ma non egualmente contro le cause accidentali di esplosione che abbiamo testè accennate. Si preven-
gono le incrostazioni che possono formarsi nelle caldaje, gettando nel loro interno delle patate ovvero un'argilla molto fine, i quali corpi impediscono l'aggregazione dei depositi delle acque, e formano una poltiglia, da cui si libera di tempo in tempo la caldaja. Se le acque che servono all'alimentazione sono buone, basta ripulire le caldaje una volta la settimana. L'abbassamento di livello, viene indicato coi mezzi seguenti:
1.° dal tubo di livello, di cui abbiamo già fatto menzione;
2.° da due robinetti posti sotto le mani del fuochista, l'uno un poco al di sopra del livello normale, l'altro un poco al di sotto: aprendo di tratto in tratto questi robinetti si giudica

dello stato della caldaja; se il primo dà dell'acqua il livello è troppo alto; se il secondo dà del vapore, il livello è troppo basso; 3.° da diversi *galleggianti*, dei quali descriveremo quello soltanto distinto col nome di *indicatore*. Questo componesi di una sfera metellica vuota p attaccata, come indica la *figura 214*, ad un'asta curva fissa fra due punte al sostegno fisso q , e capace di oscillare liberamente; il contrappeso p' equilibra in parte il galleggiante. Un sottil filo metallico rr , legato al galleggiante p , traversa una ghiera a sfregamento, e sale verticalmente per attaccarsi all'indicatore r' ; allo stesso indicatore si unisce un altro filo che scorre sulla puleggia r'' , e porta un altro contrappeso p'' ; per mezzo dei contrappesi p' e p'' il galleggiante non è che a metà immerso nell'acqua. Tosto che il livello s'alza o si abbassa nella caldaja l'indicatore r' ne segue i movimenti, e li indica al fuochista.

Caldaje dei Battelli a vapore. Queste caldaje non potendo avere un peso tanto considerevole quanto le caldaje a bollitori col loro fornello di materiale, si alleggeriscono costruendole di lamiera e a fornello interno, cioè a dire, che il fornello e i canali del fumo sono da per tutto circondati dall'acqua fino all'apertura del camino che è pure di lamiera. Ma si può adempiere a questa condizione variando moltissimo le forme; quindi è che si sono immaginati un gran numero di sistemi diversi. Per la navigazione dei fiumi si adottano generalmente le *caldaje tubulari* aventi l'acqua intorno a dei tubi in cui penetra la fiamma, e si fanno ascendere le pressioni a 5, 6, 7, o 8 atmosfere; nella navigazione marittima si resta alle basse pressioni di un'atmosfera e mezzo o di due, eccetto agli Stati Uniti ove impiegansi quasi costantemente le alte pressioni. In tal caso impiegansi generalmente delle caldaje di forma rettangolare ad angoli arrotondati aventi 4, 6, 8 o 10 fornelli, i cui canali rettangolari ad angoli arrotondati fanno varie circonvoluzioni orizzontali in mezzo all'acqua prima di sboccare nel camino. Per le locomotive s'impiegano delle caldaje tubulari, di cui daremo dettagliatamente la descrizione quando tratteremo di quelle macchine.

3.° *Delle macchine a vapore fisse.* Per render più semplice la descrizione di queste macchine, la divideremo in due parti.

Nella prima tratteremo del *meccanismo col quale viene trasmesso e regolato il movimento*; nella seconda della *distribuzione del vapore*.

1.° *Del meccanismo col quale viene trasmesso e regolato il movimento.*

Il meccanismo comprende il *cilindro a* (Tav. VII, Fig. 217), lo *stantuffo b*, la cui asta *c* traversa la *ghiera a sfregamento d*, (*boite à étoupes* de' Francesi), il *bilanciere e f g*, l'asta o *biella h*, la *manovella i*, l'*albero rotante k* ed il *volano l*, che è montato sull'albero *k*, e che gira con lui.

Quando il bilanciere oscilla intorno al suo asse *f*, le sue estremità descrivono degli archi di cerchio *e' e''*, *g' g''*, ed affinchè l'asta dello stantuffo non sia deviata e costretta a percorrere l'arco *e' e''*, essa è articolata al bilanciere per mezzo di un sistema di aste, ossia leve, mobili le une sulle altre, le quali costituiscono col loro insieme il così detto *parallelogrammo di Watt*. Si dimostra in meccanica che il parallelogrammo di cui si tratta gode infatti di questa proprietà. L'asta o biella *h* è semplicemente articolata all'estremità *g* del bilanciere, perchè non v'ha alcun inconveniente che percorra l'arco *g' g''*.

Esaminiamo come avrà luogo la comunicazione del movimento, nel caso di una macchina a doppio effetto, cioè a dire di una macchina in cui il vapore agisce tanto al disotto che al di sopra dello stantuffo per farlo salire e discendere. Prendiamo lo stantuffo nel punto in cui è rappresentato nella figura; il vuoto è fatto al di sopra e al di sotto di esso, e si tratta di farlo discendere. Si fa giungere il vapore in alto: se il cilindro fosse freddo vi si condenserebbe e non produrrebbe alcun effetto; ma noi ammettiamo che sia alla temperatura stessa del vapore, come accade nell'ordinario andamento; allora la pressione del vapore fa discendere lo stantuffo, trascina l'estremità *e* del bilanciere e parimente l'estremità *g* che risale; questa tira l'asta *h*, che agisce sulla manovella e la conduce nella verticale superiore; la manovella a sua volta trascina l'albero del volano ed il volano stesso. In questa posizione, che chiamasi *punto morto superiore*, l'asta *h* essendo in linea retta colla manovella non agisce più per farla girare, ma in

virtù dell'acquistata velocità il volano continua il suo movimento di rotazione e trascina seco la manovella, l'asta, il bilanciere e lo stantuffo stesso, che costringe a risalire. Nulla di meno, se non si distruggesse il vapore al di sopra dello stantuffo, questo per la resistenza che incontrerebbe non potrebbe fare la intiera sua corsa; e poichè mentre si distrugge il vapore al di sopra, se ne fa giungere del nuovo al di sotto, abbiamo una nuova potenza che fa risalire lo stantuffo, non più per l'effetto del volano, che non ha più bisogno di trascinarlo, ma per l'effetto del vapore che lo preme: esso torna ad agire come motore; l'asta del medesimo spinge l'estremità *e* del bilanciere per farla risalire, l'estremità *g* per farla discendere, e conseguentemente la biella, la manovella e il volano stesso; e questo stesso effetto persiste fino al momento in cui lo stantuffo giungendo presso la sommità della sua corsa, la manovella giunge fin presso il *punto morto inferiore*: allora la biella non agisce più per farla girare; è il volano che ridiviene attivo in virtù dell'acquistata velocità; il punto morto è nuovamente oltrepassato, e lo stantuffo comincia a ridiscendere trascinato dal volano. Ma in quel momento nuovo vapore penetrando al di sopra dello stantuffo, questo nuovamente ridiscende in grazia del suo impulso, oltrepassa il punto morto per la potenza del volano, e persiste nel suo movimento alternativo, mentre il volano persiste nel suo movimento continuo.

Tanto nelle macchine a doppio effetto che in quelle a semplice effetto è sull'albero del volano che definitivamente si concentrano tutte le resistenze da vincere. Qualunque sia l'effetto meccanico che la macchina deve produrre, sia che si tratti di macinare del grano, di frangere delle olive, di triturare degli stracci, di fare agire delle seghe ec., è sempre sull'albero che è applicata la resistenza che deve vincere la macchina, sia per mezzo di una ruota dentata, sia di qualunque altro mezzo di trasmissione.

2.^o *Dell'apparecchio di distribuzione del vapore.* Questo comprende, come pezzi fissi, i *condotti del vapore* e il *condensatore* o, e come pezzi mobili l'*eccentrico t*, l'*asta dell'eccentrico t'*, il *cassetto q*, la *pompa ad aria* o *pompa dell'acqua calda u*, la *pom-*

pa alimentatrice x , la pompa d'acqua fredda y , e il moderatore a forza centrifuga z .

Condotti del vapore. Il vapore giunge dal canale m (Tav. VII, Fig. 217), per entrare nel cilindro, ed esce dal canale n per andare a distruggersi nel condensatore o , che è posto al di sotto del cilindro. Il canale n non deve mai essere in comunicazione col canale d'arrivo, nè colla scatola del cassetto o spazio $m' m'$, dove il vapore si spande liberamente; la chiave m'' , simile ad una chiave di stufa, avendo soltanto l'oggetto di moderarne più o meno l'ingresso. Il cilindro non è fornito in alto che di una sola apertura p , per la quale deve entrare il vapore per agire, e per la quale esso deve uscire per andare al condensatore. Parimente non v'è in basso che una sola apertura p' per l'ingresso e per l'egresso. Sembra adunque difficile di ottenere che il vapore entri e sortì dallo stesso orifizio, senza che vi sia alcuna confusione o alcun miscuglio del vapore che entra col vapore che sorte. Questa difficoltà non è che apparente; il cassetto o valvola di Watt la risolve nel modo il più semplice ed il più ingegnoso. Chiamasi cassetto il lungo segmento di cilindro q vuoto, aperto ai due capi, e traversato in tutta la sua lunghezza dall'asta q' , che è destinata a dargli un movimento dall'alto al basso e dal basso all'alto. Il cassetto, non è in tutta la sua estensione un mezzo cilindro, ma alle sue estremità è un po' più grande e massiccio, il che costituisce due piani rappresentati da r ed r' nella figura 218, i quali applicati contro gli orifizi p e p' li ricuoprono non solo, ma sopravanzano un poco alle aperture. Il cassetto ha poi una tal lunghezza ed è situato in guisa che quando uno dei suoi piani cuopre una delle aperture del cilindro, l'altro pure ricuopre l'altra apertura; e quando invece uno dei suoi piani è situato al di sopra di una di esse l'altro ha pure la stessa situazione. Ciò posto consideriamo il cassetto nella posizione che ha nella figura. Il piano r è al di sopra dell'apertura p , che comunica così colla scatola $m' m'$ del cassetto ed il vapore sgorga al di sopra dello stantuffo; nello stesso tempo il piano inferiore r' è al di sopra dell'orifizio p' , ed il vapore che trovasi sotto lo stantuffo precipitarsi nel condensatore passando dal canale n . Il vapore della scatola $m' m'$

non può andarvi a sua volta, perchè n'è impedito dalla parte del dorso del cassetto dalle ghiera a sfregamento s ed s' , e dalla parte opposta dal piano r' . Le cose rimarranno in questo stato durante tutto il tempo della discesa dello stantuffo, ma tosto che sarà giunto in basso converrà che l'orifizio p' riceva il vapore e che l'orifizio p comunichi col condensatore. Questo cambiamento si opera facendo scorrere in basso il cassetto, in modo che il piano r si trovi al di sotto dell'orifizio p ; allora anche il piano r' si troverà al di sotto dell'orifizio p' . In questa nuova posizione vedesi che il vapore della scatola m' può passare liberamente dallo orifizio p' , ed entrare nel cilindro al di sotto dello stantuffo. In alto invece il vapore della camera m non ha più accesso dall'orifizio p ; ma invece, il piano r trovandosi al di sotto dell'orifizio p , permette la comunicazione fra la parte superiore del cilindro ed il canale n che conduce il vapore nel condensatore, mediante il vacuo interno del cassetto. Tutte le difficoltà della distribuzione sono dunque risolte se si giunge a dare al cassetto il movimento in su e in giù di cui noi abbiamo parlato. Questo movimento vien comunicato al cassetto per mezzo dell'eccentrico t e della sua asta t' .

L'eccentrico è una specie di puleggia fissa sull'albero del volano, ma il cui centro è al di fuori dell'albero stesso, come è rappresentato nella *Figura 219*. Perciò rapporto all'asse di rotazione l'eccentrico benchè circolare ha dei raggi ineguali compresi fra il raggio massimo, che chiamasi raggio grande, ed il raggio minimo, che chiamasi raggio piccolo. L'asta t' si adatta sull'eccentrico per mezzo di un anello che lo circonda e nel quale gira l'eccentrico; così quando il movimento di rotazione conduce indietro il gran raggio, l'asta è tirata indietro; quando lo conduce innanzi, l'asta è spinta innanzi; quindi la sua estremità prende un movimento in su e in giù, la cui ampiezza è eguale all'eccesso del raggio grande sul piccolo. Questi movimenti sono regolari come quelli della manovella del bilanciere e dello stantuffo, da cui dipendono; ma secondo la posizione dell'eccentrico, sono concordi o discordi. Quando il raggio grande dell'eccentrico è perpendicolare alla manovella, l'asta t' e lo stantuffo sono concordi;

cominciano e finiscono insieme la loro corsa, almeno quando l'asta t' è orizzontale, come nella *figura 217*; se invece il raggio grande è parallelo alla manovella trovasi verticale quand'essa pure è verticale, e in conseguenza l'asta t' è alla metà della sua corsa quando lo stantuffo è al termine della sua. Per altri angoli i rapporti sono diversi; ma in ogni caso ad ogni giro del volano, cioè a dire ad ogni doppia corsa dello stantuffo, v'ha sempre una doppia corsa dell'asta t' . Ciò posto immaginiamo una leva falcata acb (*Tav. VII, Fig. 219*), la quale giri attorno al punto c ed il cui braccio a sia governato dall'asta t' dell'eccentrico. È evidente che essa ne eseguirà tutti i movimenti; lo stesso accadrà del braccio b ; e se il punto b è posto in rapporto coll'asta q' del cassetto, si vede facilmente che il medesimo prenderà un movimento d'alto in basso, i cui periodi saranno perfettamente regolati su quelli dello stantuffo; quantunque possano essere più o meno concordi a seconda dell'angolo del raggio grande dell'eccentrico colla manovella. Per fermare la macchina basta sollevare l'estremità dell'asta t' in modo da disimpegnarla dalla leva.

Nelle macchine a doppio effetto, dicesi che la distribuzione si fa a *pieno vapore*, quando l'introduzione del vapore si fa durante tutta la corsa dello stantuffo; dicesi che si fa a *scatto* o a *dilatazione* (*detente* dei Francesi), quando l'introduzione ha luogo durante una sola porzione della corsa. Se si arresta il vapore a $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{4}$ della corsa, si dice che lo scatto comincia da $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ ec. della corsa, ma nello stesso tempo è di 5, 4, 3, 2, $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{4}$ quando si valuta in volumi, poichè il volume del vapore diviene 5, 4, 3 ec. volte più grande; ma se si valuta in pressione è di $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ ec., poichè il volume del vapore essendo divenuto 5, 4, 3 volte ec. più grande, la sua pressione è ridotta alla fine della corsa dello stantuffo ad $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{4}$ ec. Perciò in una macchina che agisca colla pressione di 5 atmosfere, la pressione sarà ridotta ad una sola atmosfera, se lo scatto si fa ad $\frac{1}{4}$ della corsa dello stantuffo. I vantaggi dello scatto consistono nell'economia del vapore. Difatti concepiamo due macchine intieramente simili, che agiscano ambedue colla pressione di 5 atmosfere, nella prima delle quali la distribuzione si faccia a pieno vapore, nella seconda

a scatto dopo $\frac{1}{2}$ di corsa. In quest'ultima si consuma un peso di vapore 5 volte più piccolo, e non di meno la pressione media esercitata sullo stantuffo è più di $\frac{1}{2}$ della prima, giacchè questa è di 5 atmosfere durante tutta la corsa, mentre la seconda, che è di una sola atmosfera alla fine della sua corsa, ha un valore di 5 atmosfere durante il primo quinto della corsa, e dei valori compresi fra 5 atmosfere e $\frac{1}{2}$ atmosfere, fra $\frac{1}{2}$ atmosfere e $\frac{1}{4}$ atmosfere, fra $\frac{1}{4}$ e $\frac{1}{8}$ atmosfere, fra $\frac{1}{8}$ e $\frac{1}{16}$ atmosfere, durante il 2.°, il 3.°, il 4.° ed il quinto della corsa; il che dà una pressione di due atmosfere e $\frac{1}{2}$ prendendo solamente la media tra i due punti estremi, ed una pressione più grande prendendo la media tra i punti intermedj, come dovrebbe farsi. Perciò con questo scatto si ottiene un effetto di più di $\frac{1}{2}$ consumando solamente $\frac{1}{2}$ di vapore, il quale non dovrebbe dare che $\frac{1}{2}$ di effetto se non vi fosse vantaggio. Si vede da ciò che con una data pressione e con un dato scatto si può ottenere lo stesso effetto che con una macchina a pieno vapore, con un consumo molto minore di vapore.

Condensatore e pompe ad aria. — La pronta condensazione del vapore è una delle condizioni economiche le più importanti nelle macchine a bassa pressione; è adunque necessario di fare nel condensatore una sufficiente iniezione di acqua fredda. Questa iniezione si potrebbe eseguire periodicamente nei momenti in cui il vapore sorte dal cilindro; non di meno v'ha l'uso di farla continua e di regolarla dando un'apertura più o meno grande al rubinetto *o'*. La pressione atmosferica che si esercita sull'acqua del tino ove raccogliesi l'acqua alimentatrice, la spinge con violenza nel condensatore, ove non v'ha che pochi centimetri di pressione. Il condensatore contiene sempre dell'aria, perchè l'acqua fredda ne contiene e la lascia sviluppare nel vuoto del medesimo, e perchè ne contiene pure l'acqua di alimentazione della caldaja, per cui sviluppasi insieme col vapore. Quest'aria ritarda considerevolmente la condensazione del vapore, e nuoce assai all'azione della macchina. Da ciò la necessità di toglierla. Si giunge a questo intento per mezzo della pompa *u* (Fig. 217, Tav. VII), detta perciò *pompa ad aria*, la quale serve ad estrarre l'acqua dal condensatore. L'asta *u''* di questa pompa attaccasi alla metà

di un braccio del bilanciere, onde accade che la corsa di questa pompa è eguale alla metà di quella dello stantuffo. L'acqua calda aspirata da questa pompa e che sorte dal condensatore per mezzo della valvola u' che richiudesi quando la pompa si abbassa, si versa nel tino v' , da cui per mezzo di un canale v è condotta alla pompa alimentatrice della caldaja. La *pompa alimentatrice* è una pompa, aspirante e premente, di cui v'' è la valvola d'aspirazione, x lo stantuffo e x'' la valvola di repulsione. Il tubo situato al di là di questa valvola comunica colla caldaja. La *pompa d'acqua fredda* è una pompa aspirante ordinaria, che prende l'acqua in un pozzo o in qualunque altro serbatoio: y è il corpo di questa pompa ed y' il tubo orizzontale della medesima che versa l'acqua nella vasca.

Moderatore a forza centrifuga. - È una specie di losanga articolata (Fig. 217), i cui lati superiori z portano delle palle pesanti, mentre che i due lati inferiori z' attaccansi ad un anello che può scorrere sull'asse verticale z'' ; quando l'anello sale o discende, agisce sopra un sistema di leve che vanno a chiudere o ad aprire la chiave m'' , che trovasi all'ingresso del tubo d'arrivo del vapore. È in grazia di questo meccanismo che la macchina si regola da per sé: infatti è l'albero del volano che fa girare l'asse verticale z'' e le palle stesse che sono montate su di esso; se va troppo presto, le palle partecipano di questo eccesso di velocità e si allontanano maggiormente, aprono i lati z del losanga, e fanno salire l'anello che li unisce; allora la chiave m'' gira sul suo asse diminuendo l'introduzione del vapore; invece se il volano va troppo lentamente la velocità dell'asse z'' diminuisce, e quindi anche la forza centrifuga delle palle, per cui l'anello ridiscende ed apre la chiave m'' , in guisa da accrescere l'introduzione del vapore.

Macchine ad alta pressione. - Le macchine ad alta pressione differiscono pochissimo dalla macchina che abbiamo descritta: se ne distinguono principalmente per essere sprovviste di condensatore. Il cilindro di queste macchine non è ermeticamente chiuso, ed il vapore è spinto nell'aria dopo ogni colpo di stantuffo. È dunque necessario di dare al vapore una

grandissima forza espansiva, essendo necessario che eguagli la pressione atmosferica prima di agire sullo stantuffo. Quindi essa ordinariamente supera le 5 atmosfere, e talvolta giunge sino alle otto o alle dieci atmosfere. Perciò le caldaje di queste macchine debbono essere più resistenti, e si costruiscono con ferro battuto o con rame. Le macchine ad alta pressione essendo composte soltanto di una caldaja, del cilindro, dello stantuffo e delle valvole, sono più semplici ed infinitamente meno costose di quelle di Watt; e vanno meno soggette a guastarsi. Esigono però onde agire una quantità enorme di combustibile. Per questo motivo sono principalmente usate nelle miniere di carbon fossile e nei luoghi ove il combustibile è molto abbondante. Si applicano anche alle locomotive perchè in esse è essenziale che la macchina a vapore propriamente detta, occupi il più piccolo spazio possibile.

Misura degli effetti delle macchine a vapore. — Si è convenuto di calcolare gli effetti delle macchine a vapore, paragonando la loro forza a quella di un cavallo. Si è determinato coll'esperienza, che la potenza meccanica di un cavallo poteva rappresentarsi con 75 chilogrammi inalzati ad un metro di altezza in un secondo. Questa unità di forza dicesi *caval-vapore*. Perciò una macchina a vapore della forza di dieci cavalli è capace d'inalzare 750 chilogrammi a un metro di altezza in un secondo. Si costruiscono spesso delle macchine a vapore della forza di 100 e 200 cavalli; la macchina la più potente che sia stata costruita, è stata quella della forza di 500 cavalli. Non bisogna dimenticare che calcolando la forza di una macchina a vapore col paragonarla a quella di un cavallo, si suppone che la macchina lavori lo stesso tempo che un cavallo, cioè a dire otto ore al giorno; ma la macchina a vapore può agire durante tutte le 24 ore del giorno; ond'è, che sotto questo aspetto, il potere di una macchina è tre volte maggiore di ciò che ordinariamente si considera.

Macchine locomotive. — Una locomotiva si compone di una caldaja e di due cilindri a vapore agenti sotto la pressione di 4 atmosfere e mezzo o di 5, e senza condensazione. Questo insieme riposa sopra un gran quadro o telajo orizzontale, di legno o di ferro, che riposa esso stesso sugli assi di due o

tre paia di ruote. I due cilindri a vapore sono sempre situati simmetricamente nella parte anteriore della locomotiva; ogni stantuffo è fornito di un'asta, ed ogni asta agisce sopra una manovella.

La forza elastica del vapore imprimendo un moto alternativo agli stantuffi, imprime un movimento di rotazione alle ruote motrici, le quali per la resistenza delle rotaje cagionano un movimento di traslazione di tutto il sistema. La velocità dipende dal numero dei colpi di stantuffo e dal diametro delle ruote, giacchè per ogni colpo di stantuffo la ruota fa un giro, e la locomotiva si avvanza di tutta la circonferenza della ruota. Le ruote motrici delle locomotive sono sempre due; nelle locomotive pel trasporto dei viaggiatori son più grandi delle altre quattro che servono a render più stabile tutto il sistema. Una macchina locomotiva altro non è in realtà che una macchina a vapore ordinaria ad alta pressione per ciò che riguarda i cilindri, gli stantuffi, le bielle, le manovelle; e non ne differisce particolarmente che per la caldaia, per la disposizione dei pezzi, e specialmente pei moderatori, che è necessario porre a portata del conduttore, onde possa ad ogn'istante e senza sforzo accelerare o ritardare la velocità, ed all'occorrenza spingere il vapore in senso contrario, per distruggere più prontamente la velocità acquistata dall'enorme massa della locomotiva e del convojo. Per dare un'idea di questo insieme così meravigliosamente combinato, prenderemo ad esempio la macchina a sei ruote di Stephenson, che è rappresentata nella Tav. VIII dalle Fig. 219, 220, 221, 222 e 223. La figura 219 rappresenta l'esteriore di questa macchina; la figura 220 ne rappresenta una sezione longitudinale; la figura 221 ne rappresenta una sezione trasversa che passi dalla cupola dove è attinto il vapore, lungo la linea 1, 1' della figura 220. La figura 222 ne rappresenta una veduta di faccia dalla parte anteriore, supponendo tolta soltanto la parete estrema 2 2'. La figura 223 è una sezione più grande di uno dei cilindri, onde mostrare la distribuzione del vapore.

Del meccanismo delle locomotive. — Dopo quanto si è detto relativamente al meccanismo delle macchine fisse, basterà

mostrare i pezzi che compongono il meccanismo delle locomotive, per concepire immediatamente il modo col quale agiscono. (Fig. 220, Tav. VIII) *a* è lo stantuffo, *b* l'asta del medesimo, *c* la biella dell'asse a gomito, *d* l'asse a gomito stesso il quale agisce a guisa di una manovella.

Caldaja e fornello. — Il corpo della caldaja è un cilindro di lamiera di ferro di 2,^m5 di lunghezza e del diametro di 1,^m2, il quale incastrasi colla sua parte anteriore *e* e nella *cassa del fumo*, e colla sua parte posteriore *e'* e' nella *cassa del fuoco* o *fornello*. La forma della cassa del fumo s'intende colla ispezione delle figure 219, 220, 221. Le due ultime figure fanno vedere che da questo lato il cilindro della caldaja è chiuso da un fondo piano *f*, la cui metà inferiore è traversata da 150 fori eguali vicinissimi fra loro. La forma della cassa del fuoco è rappresentata dalle figure 219, 220, 222; essa ha la stessa apparenza esterna della cassa del fumo, se non che è più profonda nel senso della lunghezza della caldaja, ma internamente ne differisce per varj rapporti: 1.° dal lato della cassa del fuoco, il cilindro che costituisce il corpo della caldaja non ha fondo, ma è semplicemente inchiodato coi suoi margini sulla parete posteriore della cassa medesima; questa cassa è a pareti doppie in *h* *h'* ed in *g*, e l'acqua penetra tra le pareti, dimodochè il fornello è circondato da ogni lato da acqua, eccettuato nel fondo e nel punto in cui è posto lo sportello. La porzione di parete semplice della cassa del fuoco, che fa da fondo al corpo della caldaja, è traversata da tanti fori, quanti ve ne sono nel fondo anteriore del corpo della caldaja, e questi fori si corrispondono esattamente. Dei tubi di ottone *g'*, di una conveniente lunghezza e di un diametro esterno di 4 centimetri, sono aggiustati in tutti questi fori, e stabiliscono così una comunicazione fra il fornello e la cassa del fumo. L'acqua della caldaja circonda tutti questi tubi. La combustione si fa nel fornello sulla graticola *i*, attraverso le sbarre della quale penetra l'aria che deve avviare la combustione. I prodotti infiammati di questa si precipitano dai 150 tubi verso la cassa del fumo e fuggono dal tubo o cammino *i'*. Ma l'aspirazione di questo, attesa la sua brevità, necessaria pel passaggio dei ponti e dei tunnel, sa-

rebbe debolissima, se non vi si fosse provveduto col dirigere nel camino stesso un vivo getto di vapore per mezzo del tubo di scappamento j (Tav. VIII, Fig. 220). Questo getto spinge dinanzi a sè colla considerevole velocità da cui è animato i prodotti della combustione, già animati di una certa velocità, e tende per conseguenza colla formazione del vuoto dietro di sè, a far correre più rapidamente l'aria esterna al fornello ed attraverso la massa in combustione. Con siffatta aspirazione artificiale la locomotiva può ardere un quintuplo di combustibile, e produrre quindi una quantità di vapore cinque volte più grande, che non produrrebbe senza tale artificio. Una chiave j'' serve a regolare questo getto. È quasi superfluo osservare che i vantaggi della descritta caldaia tubulare, consistono nell'avere una grande superficie di riscaldamento con poco peso e poco volume.

Distribuzione del vapore. Il vapore prodotto si porta naturalmente nella parte superiore della caldaia, e va ad occupare lo spazio compreso fra la superficie dell'acqua e la parete superiore della caldaia medesima. La superficie dell'acqua è un poco al di sopra del livello della volta gg del fornello. La caldaia è fornita superiormente nella sua parte posteriore di una specie di cupola di ottone k , di modo che il vapore prodotto riempie anche questo spazio. Presso la volta di questa cupola sbocca il canale k' destinato a condurre il vapore della caldaia nell'interno dei cilindri. Questo canale imbocca coll'altra sua estremità nel serbatoio k'' , che prolungasi nel tubo m , il quale al di fuori del fondo f si divide a dritta e a sinistra nei tubi m' e m'' (Tav. VIII, Fig. 221) i quali comunicano coi cilindri. Il vapore che tende ad inalzarsi si porta sotto la cupoletta, e là trovando aperto il tubo k' vi si precipita per discendere verso i cilindri. È facile intendere l'ufficio della cupoletta: senza di essa la vivacità dell'ebullizione e le scosse della macchina farebbero sì che moltissima acqua allo stato liquido entrasse nel tubo k' , il che diminuirebbe molto l'effetto. Al serbatoio k'' , è unito un regolatore l , che lascia aprire in totalità o in parte, o chiudere affatto l'orifizio per cui esce il vapore. Per mezzo di una leva l' , che vedesi sul davanti del focolare, il conduttore regola questo apparecchio.

La distribuzione del vapore nei cilindri si fa qui più semplicemente che nelle macchine fisse. Vedesi chiaramente nella *figura 220*, e più in grande nella *figura 223*. I due orifizj p e p' del cilindro comunicano per mezzo di canali coi fori rettangolari o finestre n e n' . L'apertura del mezzo o è quella dello sgorgeo del vapore, la quale comunica col tubo di efflusso j . Un sol cassetto q , fornito dell'asta q' scorre sulle aperture n ed n' . È una specie di cassetta rettangolare fornita dei margini r ed r' convenientemente larghi. L'interno del cassetto cuopre presso a poco i due fori insieme: quando è nella posizione indicata dalla *figura*, il vapore entra da n' , perchè il canale d'arrivo m'' comunica colla camera nella quale si muove il cassetto; nello stesso tempo dal di sotto del cassetto il vapore esce dall'apertura n , per passare dall'apertura o nel tubo di sgorgeo j : accade l'inverso quando il cassetto ricuopre contemporaneamente o ed n' .

Movimento del cassetto. Il movimento del cassetto si fa come nelle macchine fisse per mezzo di eccentrici, con questa differenza che nelle locomotive l'asse a gomito rimpiazza l'albero del volano. Si concepisca dunque un eccentrico circolare, fisso sull'asse delle ruote motrici; si concepisca inoltre un asse fornito di due braccia o leve perpendicolari alla sua lunghezza, una delle quali riceva l'azione dell'asta dell'eccentrico, l'altra la trasmetta all'asta del cassetto, e si avrà una idea di questo meccanismo, che è completamente analogo a quello della macchina fissa. Ma v'ha un'altra condizione indispensabile: è necessario che il conduttore possa subitamente, a un dato momento, mandare il vapore in senso inverso. Ciò presentava un'assai grande difficoltà a motivo della rapidità del movimento dello stantuffo. Ecco come Stephenson l'ha risolta. Egli ha stabilito due eccentrici e due aste per ogni cassetto: i due eccentrici sono disposti in senso inverso, in modo cioè che il raggio grande dell'uno corrisponda al raggio piccolo dell'altro; ne risulta che i movimenti delle due aste sono inversi, e quando una spinge, l'altra tira a sé. Ciò premesso, concepiamo il cassetto a metà della sua corsa e mosso dall'asta di uno degli eccentrici, ed immaginiamo che ad un tratto si stacchi quest'asta per fare agire l'asta dell'altro

eccentrico : è evidente che il cassetto dovrà tornare indietro, e conseguentemente il vapore sarà spinto in senso contrario ; ciò non impedirà alla locomotiva di proseguire la sua strada, e alle ruote di proseguire a girare nello stesso senso, in virtù dell'acquistata velocità ; ma questo andamento dicesi a *contro vapore*, perchè tutta la potenza del vapore è applicata a distruggere il movimento della locomotiva per imprimerle il movimento contrario. Si fa dunque il cambio del movimento dello stantuffo per arrestare più prontamente le locomotive nei casi pressanti, e si fa ancora quando si vuol far rinculare la locomotiva. Tutta la difficoltà adunque consiste nello staccare le prime aste per mettere in azione le seconde, e compiere questa inversione con un tal mezzo che non esiga che un sol movimento del conduttore. Si è giunti a questo intento per mezzo di un meccanismo, che qui sarebbe troppo lungo descrivere.

Sulle figure 219 e 220 vedonsi : il fischio w della macchina, la valvola di sicurezza w' , e l'orifizio w'' , che è detto *foro d'uomo*, perfettamente chiuso da un coperchio metallico fissatovi sopra. Per mezzo di quest'orifizio si può entrare nella caldaja per ripulirla. La valvola di sicurezza delle locomotive invece di esser carica di pesi, i quali sarebbero spostati dalle scosse della locomotiva, è tenuta fissa per mezzo di molle, di cui si è precedentemente misurato e graduato l'effetto.

Alimentazione. L'alimentazione della caldaja si opera per mezzo di due pompe aspiranti e prementi, una per ogni lato, lo stantuffo delle quali riceve il movimento in su è in giù dall'asta dello stantuffo della macchina. Questa pompa prende l'acqua nel *tender* per mezzo del tubo b' (Tav. VIII, Fig. 220) ; un robinetto b'' posto sotto la mano del fuochista, serve a regolare l'alimentazione. Il livello dell'acqua nella caldaja è indicato da un tubo di livello, che è posto sotto gli occhi del fuochista, e da due robinetti situati, l'uno al di sopra del livello, il quale quando apresi, deve dare del vapore, e l'altro al di sotto, che deve dare dell'acqua.

Il *tender*, o frugone d'approvvigionamento, è un carro a quattro ruote, unito alla macchina per mezzo della caviglia c' .

contiene dell'acqua in una vasta cassa colla quale comunica il condotto *b'*; questa cassa occupa posteriormente tutta la larghezza del carrq, ma anteriormente non ha che due ali, fra le quali v'ha uno spazio che serve di magazzino al carbone. Un piano di lamiera cuopre l'intervallo tra la cassa dell'acqua e la locomotiva; di modo che il conduttore ed i fuochisti hanno così per le loro manovre uno spazio assai considerevole.

Impiego del vapore come mezzo di riscaldamento. Abbiamo veduto che i vapori quando si formano assorbono una grande quantità di calore necessaria alla costituzione del loro stato, e che questo calore si svolge in totalità quando essi si condensano. È facile adunque concepire come la condensazione dei vapori possa servire qual mezzo di riscaldamento. È sempre il vapore acquoso che serve a quest'uso. Formasi in caldaje analoghe a quelle che impiegansi per le macchine a vapore, e si fa giungere per mezzo di canali nel luogo in cui trovansi i corpi che voglionsi riscaldare. Ponendo il vapore in contatto diretto di questi corpi, ovvero facendolo circolare in canali che li circondino, esso condensa, e il calore che si sviluppa per questa condensazione scalda i corpi.

Questa maniera di riscaldamento può essere adoprata per riscaldare i bagni e i tini ove pongonsi in infusione le materie coloranti nelle tintorie, per evaporare i liquidi, per riscaldare l'aria degli appartamenti, delle stufe, dei seccatoj ec. Quando i liquidi che devono esser riscaldati possono senza inconveniente esser mescolati all'acqua, si fa passare il vapore attraverso il liquido. In caso diverso si fa circolare intorno al vaso che contiene il liquido, solamente in un doppio fondo, ovvero si situa nell'interno del vaso un tubo, ordinariamente disposto a serpentino, che si fa percorrere dal vapore. Nel primo caso, il tubo che conduce il vapore deve farsi pescare profondamente nella massa liquida, e la sua estremità dev'essere molto resistente, senza di che sarebbe schiacciato, rotto e spezzato dal vuoto che producesi nell'istante in cui il vapore si condensa. Il vapore che giunge all'estremità del tubo dotato della temperatura di 110° o 120° , si gonfia da principio formando delle bolle, ma vien tosto condensato dal raffredda-

mento che subisce, ed il liquido precipitarsi a riprendere il posto che il vapore occupava. Da ciò nasce il rumore assordante che si produce in questa maniera di riscaldamento, e lo schiacciamento al quale l'estremità del tubo è esposta. Pel riscaldamento dei gas si adopra un processo analogo a questo.

Il riscaldamento a vapore è spesso economico, perchè con una sola caldaja a vapore, e quindi con un sol fornello, si può scaldare un gran numero di masse liquide o d'aria molto lontane fra loro, le quali altrimenti esigerebbero spesso ciascuna un fornello. Un riscaldamento a vapore di rimarchevole economia l'abbiamo in Toscana nell'industria dell'estrazione dell'acido borico. I fumajoli, che sgorgando dal suolo trascinano seco loro questo prodotto sono dotati di una temperatura di 100°. Una porzione di essi si fa passare attraverso l'acqua di certe vasche, la quale si carica del loro acido borico; un'altra porzione è trasportata per mezzo di canali di terra al di sotto delle caldaje ov'è posta ad evaporare l'acqua che si è saturata d'acido borico. In questo modo l'evaporazione non costa nulla, e mentre prima, quando operavasi colla combustione delle legna, l'industria dovè soccombere per mancanza di vantaggio, è oggi divenuta una sorgente importante di ricchezza pel nostro paese.

3.° *Della propagazione del calore.*

Il calorico può trasmettersi da un corpo ad un altro in due modi distinti: 1.° *per irraggiamento*, quando i corpi fra i quali la trasmissione del calore ha luogo sono più o meno lontani fra loro; 2.° *per comunicazione* quando questi corpi sono fra loro così vicini che le loro molecole si toccano.

1.° *Propagazione del calore per irraggiamento.* Se si prende una palla di ferro infuocata e si sospende in mezzo ad una stanza, da ogni parte intorno ad essa ricevesi un'impressione di calore, mentre che l'aria che la circonda conserva presso a poco la sua temperatura primitiva. La palla adunque lancia da tutti i suoi punti e in tutte le direzioni del calorico, il quale traversa l'ambiente per non arrestarsi che su dei corpi capaci di assorbirlo. Il sole, a guisa di questa palla,

lancia esso pure da tutti i suoi punti del calore, il quale si propaga nello spazio, e non è assorbito che dai pianeti che incontra, come per esempio dalla terra. Il calor solare traversa la nostra atmosfera, e non è da essa assorbito che in picciol grado, mentre lo è intieramente dalla superficie terrestre. Ciò che abbiamo detto della palla infuocata e del sole, può applicarsi a tutti i corpi caldi. Ogni corpo caldo lancia nello spazio da tutte le parti il suo calore, il quale a guisa della luce è capace di traversare certi corpi e di essere assorbito da altri. Secondo quella ipotesi che considera il calore siccome un fluido le cui particelle muovonsi con grandissima velocità seguendo la linea retta, da tutti i punti della superficie di un corpo caldo irraggiante partonsi tanti filetti di particelle calorifiche, o, come più ordinariamente si dice, tanti raggi calorifici. Egli è per questa ragione che il calorico lanciato nello spazio da un corpo caldo, dicesi *calorico raggianti*.

Proprietà del calorico raggianti. Il calorico raggianti si spande non solo nell'aria, ma ben anche nel vuoto. Rumfort l'ha provato con un barometro terminato da un palloncino, nel mezzo del quale era situata la palla di un termometro (Tav. VIII, Fig. 224). Il vuoto più perfetto era in quel palloncino; eppure non appena gli si accostava un corpo caldo, il termometro dava segni d'innalzamento di temperatura; prova evidente che il calorico si trasmetteva al termometro attraverso il vuoto. Le proprietà del calorico raggianti sono state studiate nell'aria, perchè è in mezzo a questo fluido che ordinariamente si spande. Sarebbe stato troppo difficile e di assai minore importanza studiarle nel vuoto.

L'intensità del calorico raggianti varia in ragione inversa del quadrato della distanza dalla sorgente. Infatti se si pone dinanzi ad una delle palle di un termometro differenziale una sorgente qualunque di calore, mentre l'altra palla è difesa da un tramezzo, e si fa variare la distanza di questa sorgente calorifica, si osserva che le quantità di calore ricevute variano con la legge enunciata.

Questa legge può anche dimostrarsi col ragionamento, ammettendo che nella trasmissione non vi sia perdita di calore.

Infatti descriviamo intorno ad un centro d'irraggiamento, due sfere concentriche con dei raggi R ed R' (Tav. VIII, Fig. 225), e prendiamo su ciascuna di esse la stessa estensione m : ogni sfera intercettando tutti i raggi, le quantità di calore che giungeranno sull'estensione m alle distanze R ed R' saranno evidentemente nel rapporto della superficie m alle superfici delle sfere, i cui raggi sono R ed R' . Quindi designando queste quantità con T e T' , si avrà

$$T : T' :: \frac{m}{4\pi R^2} : \frac{m}{4\pi R'^2} = \frac{1}{R^2} : \frac{1}{R'^2}$$

L'intensità del calorico raggianti è proporzionale all'estensione della superficie che irraggia. Questa legge può dimostrarsi colla esperienza, presentando ad egual distanza al termoscopio di Leslie una serie di cubi di latta, pieni tutti di acqua calda, i quali non differiscano che per l'estensione delle loro facce. Gl'innalzamenti di temperatura che presenta il termoscopio crescono al crescere della estensione della superficie dei cubi.

L'intensità dei raggi calorifici emessi da una superficie qualunque di un corpo diminuisce colla inclinazione di questa superficie. Infatti, se si presenta una superficie riscaldata (Tav. VIII, Fig. 226), MN ad uno specchio sferico metallico XY al cui fuoco sia situato il bulbo di un termoscopio (1) e s'interpongono fra lo specchio e la superficie irraggiante, due diaframmi traversati da due aperture eguali o ed o' , in modo che il fascio dei raggi che giunge allo specchio sia racchiuso in un cilindro orizzontale avente per base l'orifizio o , il termoscopio salirà di una certa quantità; se allora s'inclina la superficie raggianti MN , la porzione di questa superficie che manderà dei raggi allo specchio sarà $A'B'$ maggiore di AB . Pertanto si vede che il termoscopio non cambia; bisogna adunque necessariamente che l'intensità dei raggi calorifici diminuisca pro-

(1) Vedremo in breve che l'ufficio degli specchi sferici si è quello di concentrare in un punto chiamato fuoco tutti i raggi calorifici che cadono sulla sua superficie, sicchè se in quel punto si situa il bulbo di un termoscopio si hanno forti segni di riscaldamento.

porzionalmente all'aumento di superficie raggianti prodotto dalla sua inclinazione, e che in conseguenza la quantità di calore emessa obliquamente da una superficie sia eguale a quella che sarebbe emessa normalmente dalla sua proiezione. Resulta da questa legge, che se si ha un cilindro (*Tab. VIII, Fig. 227*), tagliato da un piano qualunque, la quantità di calore che proviene dai raggi emessi dalla base *AB* del cilindro è costante, qualunque sia la sua inclinazione, sia dessa rappresentata da *A'B'* o da *A''B''*. Se ne deduce parimente che una sfera riscaldata emette in una data direzione lo stesso calore che emetterebbe uno dei suoi grandi circoli. Se la legge enunciata non esistesse, non si potrebbe stabilire l'equilibrio di temperatura nei corpi situati in uno spazio compreso entro un recinto formato di pareti dotate di una temperatura costante. Infatti i raggi emessi dalla superficie *AB* di un corpo, tanto più si avvicinano quanto più sono inclinati (*Tab. VIII, Fig. 228*); perciò se la loro intensità fosse costante, i corpi che riceverebbero i raggi molto inclinati si scalderebbero molto più degli altri, e a seconda della loro forma e della loro posizione cangerebbe la loro temperatura nello spazio supposto, e ve ne sarebbero alcuni dotati di un'altissima temperatura, mentre altri sarebbero freddi.

Velocità del calorico raggiente. Se si pone ad una certa distanza da uno specchio sferico un corpo caldo irraggiante, e si situa tra di essi un diaframma, e quindi ad un tratto si toglie, l'intervallo di tempo che separa l'istante in cui vien tolto il diaframma dall'istante in cui il termometro posto al fuoco dello specchio comincia a sollevarsi, non è minimamente apprezzabile, ancor che la distanza fra il corpo caldo e lo specchio sia considerevole, purchè però sia tale che il primo possa sempre influire sul secondo. L'esperienza è stata fatta ad una distanza di circa 23 metri. È dunque grandissima la velocità della trasmissione del calorico raggiente. Ciò potrebbe anche dedursi dall'osservare che il calorico che accompagna la luce si muove colla stessa velocità. I raggi luminosi lanciati dal sole percorrono 700,000 leghe per minuto secondo, perciò è colla stessa velocità che si muovono i raggi calorifici che li accompagnano. Non si potrebbe però affermare che il calo-

rico oscuro si muova colla stessa rapidità; e benchè resulti dalle esperienze ora citate che la sua velocità è grandissima, siccome le distanze alle quali queste esperienze sono state fatte sono estremamente piccole rispetto alla distanza del sole, potrebbe esservi un'enorme differenza tra la velocità del calorico luminoso e quella del calorico oscuro, senza che fosse apprezzabile nelle esperienze in questione.

Riflessione del calorico raggiante. La proprietà più rimarchevole del calorico raggiante, si è quella di muoversi in linea retta, e di esser riflesso dalle superfici levigate in modo che il raggio incidente ed il raggio riflesso sono ambedue in un piano perpendicolare alla superficie riflettente ed egualmente inclinati sulla normale.

La dimostrazione di questo principio riposa sopra una proprietà degli specchi sferici. Chiamansi *specchi sferici* le superfici sferiche di metallo o di vetro che servono a concentrare in un punto dei raggi luminosi o calorifici. Sia MN (Tav. VIII, Fig. 229), una sezione trasversale di uno di questi specchi. Sia C il centro della sfera a cui lo specchio appartiene, che dicesi *centro di curvatura*, A il punto di mezzo dello specchio denominato *centro di figura*; la retta AB che passa per questi due punti è l'*asse principale* dello specchio. Per applicare agli specchi sferici le leggi della riflessione sulle superfici piane si considerano come formati da un infinito numero di superfici piane infinitamente piccole, nella quale ipotesi si dimostra colla geometria che le normali a queste piccole superfici concorrono tutte nel centro di curvatura, ossia sono i raggi della sfera a cui lo specchio appartiene. Ciò posto, suppongasì collocata sull'asse AB dello specchio MN , una sorgente calorifica abbastanza lontana perchè i raggi EK , PH ec., da essa emanati si possano considerare paralleli fra loro. Per l'ipotesi premessa che lo specchio sia formato da un infinito numero di piccoli elementi piani, il raggio EK si riflette sull'elemento K , precisamente come sopra uno specchio piano, cioè facendo CK la normale a questo elemento, il raggio prende una direzione KF ; tale che l'angolo CKF è eguale all'angolo CKE . Siccome gli altri raggi PH , GI , ec. si riflettono nella stessa guisa, così tutti questi raggi dopo

la loro riflessione concorrono sensibilmente in un punto F situato alla metà di AC . Adunque in F succede una concentrazione di raggi calorifici, e per conseguenza un innalzamento di temperatura maggiore che in ogni altro punto. A questo punto fu dato il nome di *Fuoco de'raggi paralleli* o di *Fuoco principale*. Quivi concentransi i raggi solari che si fanno cadere sugli specchi sferici.

Ma se invece di raggi paralleli, si avessero dei raggi calorifici divergenti emananti tutti da un punto A situato sull'asse principale dello specchio al di là del centro di curvatura del medesimo, si dimostra cogli stessi principj che i raggi riflessi riuniscono tutti in un punto E , situato pure sull'asse dello specchio, al di là del fuoco principale, e questo punto dicesi *Fuoco del punto A*. Si può determinare la posizione di questo punto situando un lume nel punto A , e cercando nello spazio, davanti allo specchio, con un pezzo di carta, il punto in cui si ottiene una immagine distinta del lume.

Ciò premesso, se dinanzi ad uno specchio sferico MN (Tav. VIII, Fig. 230), si situa un corpo caldo K e nel fuoco determinato un termometro, questo s'innalza rapidamente, mentre quelli che si ponessero in avanti, indietro, o lateralmente al fuoco, non proverebbero alcuna sensibile variazione; purchè il corpo caldo si trovasse ad una distanza assai grande dal termometro per non esercitare alcuna diretta influenza su di lui. Resulta evidentemente da ciò, che lo specchio concentra nel proprio fuoco il calore che riceve dal corpo caldo; e siccome ciò non può aver luogo se non quando il calore si muova in linea retta e si rifletta contro la sua superficie, in un piano normale, sotto un angolo di incidenza eguale all'angolo di riflessione, ne segue necessariamente che il calorico raggiante gode di questa proprietà. I movimenti dell'aria non alterano minimamente quelli del calorico raggiante, giacchè se si stabilisce una corrente d'aria dinanzi lo specchio, gli effetti precedenti non sono turbati.

Per rendere molto sensibili le variazioni della temperatura del fuoco dello specchio, e specialmente perchè le indicazioni dello strumento sieno indipendenti dalle variazioni di temperatura dell'aria ambiente, si situano ordinariamente nel

fuoco degli specchi, o il *termoscopio di Rumfort* o il *termometro differenziale di Leslie*, istrumenti già da noi descritti. Questi istrumenti indicando soltanto la differenza di temperatura delle due palle, se si situano in modo che una di esse sia al fuoco dello specchio, essendo l'altra sottoposta soltanto all'azione dell'aria, indicheranno sicuramente le più leggiere differenze fra la temperatura dell'aria e quella del fuoco; inoltre le loro indicazioni saranno proporzionali alle quantità di calore che ricevono.

Le esperienze relative alla riflessione del calorico raggiante si fanno in un modo molto più decisivo per mezzo di due specchi sferici. Supponiamo di avere due specchi metallici concavi MN e $M'N'$ (*Tav. VIII, Fig. 231*), posti l'uno in faccia all'altro in modo che i loro assi si confondano. Se si pone un corpo caldo, ossia un centro d'irraggiamento calorifico, al fuoco principale F di uno di questi specchi, i raggi calorifici che ne emanano saranno riflessi parallelamente gli uni agli altri dalla superficie dello specchio MN , facendo un angolo di riflessione eguale all'angolo d'incidenza, e andranno ad incontrare la superficie dell'altro specchio, che li rifletterà colla stessa legge, in modo da riunirli o *convergerli*, come si dice, al fuoco F' dello specchio $M'N'$. Per questa disposizione i raggi concentrati sono molto più numerosi che coll'impiego di un solo specchio. Posto ciò, se al fuoco F' situasi un termometro o un termoscopio, avremo segni fortissimi d'innalzamento di temperatura, mentre che allontanandolo da questo punto si abbasserà anche quando si avvicina al corpo caldo posto in F .

Queste esperienze sulla riflessione del calorico raggiante sono dovute a Pictet. Questo fisico cominciò col porre al fuoco F una candela accesa; tosto la palla del termometro posto all'altro fuoco fu illuminata, e la colonna termometrica ascese. In questa esperienza il termometro riceve contemporaneamente l'emanazione luminosa e l'emanazione calorifica. Se fra i due specchi s'interpone un tramezzo di vetro, i raggi della luce lo traversano, ma quelli del calore sono arrestati, almeno in parte, dimodochè nel momento che s'interpone il tramezzo si vede abbassare il termometro, benchè la sua palla continui

ad essere illuminata dal passaggio dei raggi luminosi. Pictet pose in seguito al fuoco dello specchio *M* un corpo caldo oscuro, come per esempio un pallone d'acqua calda, e pose un termoscopio sensibilissimo al fuoco dello specchio opposto. Il termoscopio sali nell'istante. Sostituendo in seguito al pallone d'acqua calda una palla di ferro scaldata al rosso vivo, produsse al fuoco *F'* un calore così forte da potervi accendere un pezzo d'esca.

Potere emissivo o irraggiante. Dice si potere emissivo o irraggiante la facoltà che hanno i corpi di lanciare intorno di loro, in tutti i sensi, il calore di cui sono dotati. Questa proprietà appartiene indistintamente a tutti i corpi. Noi l'abbiamo osservata, sia in quelli talmente riscaldati da esser luminosi, come in quelli caldi ma oscuri. Potrebbe dimostrarsi che esiste nei corpi a qualunque temperatura; che sono dotati di potere emissivo, l'acqua all'ordinaria temperatura, il ghiaccio, il mercurio congelato; infine tutti i corpi comunque sieno freddi. In quelle esperienze nelle quali abbiamo constatato il potere emissivo, la temperatura del corpo era sempre superiore a quella dell'ambiente, e quindi i suoi raggi calorifici concentrandosi al fuoco dello specchio agivano in modo evidente sugli'istrumenti termometrici. Non sarebbe difficile concentrare egualmente anche i raggi calorifici del ghiaccio o del mercurio congelato, in modo da ottenere dei segni d'innalzamento di temperatura, operando in ambienti la cui temperatura fosse inferiore alla loro. Operando nelle regioni boreali, ove l'aria è alla temperatura di 45° sotto zero, il ghiaccio darebbe dei segni fortissimi di calore al fuoco di uno specchio di Pictet, ed il mercurio congelato ne darebbe parimente, ma in assai minor grado.

Il fatto dell'irraggiamento del calorico dei corpi freddi si deduce dalla seguente esperienza. Se nell'esperimento dei due specchi di Pictet, invece di un corpo caldo si pone al fuoco di uno degli specchi un corpo freddo, qual sarebbe del ghiaccio, o un miscuglio di neve e sale, si vede abbassare il termometro che è posto all'opposto fuoco. Ciò significa che il ghiaccio e il termometro si sono lanciati reciprocamente il loro calore; quindi ne è avvenuto che il ghiaccio ne ha

ricevuto più di quello che ne abbia emesso, mentre il termometro ne ha emesso più di quello che ne abbia ricevuto, e conseguentemente la sua temperatura ha dovuto diminuire. In principio si spiegò il risultato di questa esperienza, ammettendo l'esistenza dei *raggi frigorifici*; ma il solo ragionamento distrugge questa ipotesi. Il freddo assoluto non ci è noto: un corpo freddo come il ghiaccio è sempre un corpo dotato di assai calore, poichè noi possiamo abbassare ancora assai considerevolmente la sua temperatura, cioè a dire togliergli ancora del calore. Difatti sappiamo che mescolando il ghiaccio a certi sali se ne può abbassare la temperatura fino a -30° , e giunti a questo punto non gli abbiamo tolto tutto il calore, giacchè con altri mezzi noi potremmo portare assai più in basso la sua temperatura. Ogni giorno scuopronsi nuovi mezzi più efficaci di raffreddamento, ma forse non giungeremo mai a togliere la totalità del calore contenuto in un corpo. Adunque se è certo che ogni corpo, quantunque freddissimo, possiede sempre del calore, con qual fondamento si potrebbe ammettere che emetta dei raggi di freddo? Non sarà egli evidente, che se un corpo freddo ci dà indizi d'irraggiamento, questo sarà dovuto a quel poco di calore di cui è provvisto, e che dovrà certo produrre segni di raffreddamento sopra un corpo che irraggia su di esso una quantità maggiore di calore?

Dall'insieme dei fatti di cui abbiamo fin qui parlato si può concludere che tutti i corpi, qualunque sia la loro temperatura, emettono continuamente del calore, e ne ricevono costantemente dai corpi circondanti; e perciò il raffreddamento ed il riscaldamento dei corpi dipendono da ciò che l'emissione è maggiore o minore dell'assorbimento. Un corpo caldo trasportato in un ambiente freddo, si raffredderà fintantochè la sua temperatura non sarà divenuta eguale a quella dell'ambiente, e intanto l'ambiente si sarà alquanto riscaldato perchè avrà ricevuto dal corpo caldo maggior quantità di calore di quella che gli avrà ceduto. Viceversa un corpo freddo si riscaldierà in un ambiente caldo, e questo si raffredderà finchè le temperature dell'uno e dell'altro non sieno divenute eguali. Ma qual sarà lo stato del calore di un corpo la cui temperatura

sarà divenuta stazionaria? Possiamo rappresentarci questo stato supponendo che cessi ogni irraggiamento di calore fra corpo e corpo; possiamo intenderlo ancora, ammettendo che si emetta dal corpo la cui temperatura è divenuta stazionaria una quantità di calore eguale a quella che riceve. Questa ultima ipotesi, conosciuta col nome di *principio dell'equilibrio mobile*, ed immaginata da Prevost, è quella più generalmente accettata.

Influenza della natura della superficie dei corpi sull'emissione del calorico raggianti. Oltre la distanza, l'inclinazione e l'estensione della superficie irraggiante influisce ancora sulla quantità del calore irraggiato da un corpo, la natura del corpo medesimo. I corpi non sono dotati tutti egualmente di potere emissivo. Le differenze che si osservano sotto questo rapporto sembrano dipendere dalla natura della loro superficie. Le ricerche fatte su questo soggetto furono in principio eseguite coll'apparecchio degli specchi concavi ed il termoscopio o il termometro differenziale di Leslie; poscia col termo-moltiplicatore immaginato dal Nobili, ma conosciuto più comunemente col nome di *termo-moltiplicatore del Melloni*, perchè applicato in queste importanti ricerche da questo ingegnoso fisico. Il termo-moltiplicatore non può essere qui descritto, perchè ci mancano le cognizioni sull'elettricità, atte a fare intendere il modo con cui agisce: basti per ora ritenere che la sua sensibilità risiede nella proprietà che possiede una serie di piccole sbarre d'antimonio e di bismuto, saldate alternativamente le une alle altre, di sviluppare per poco che le loro faccie sieno inegualmente riscaldate, una corrente elettrica, la cui intensità è misurata dal movimento di un ago calamitato che gira sopra un quadrante graduato, e il cui grado di deviazione dipende in ogni caso particolare dalla quantità di calore che ha agito su di esso. L'insieme delle sbarre saldate d'antimonio e di bismuto costituisce la così detta *pila termo-elettrica*, e l'apparecchio contenente l'ago calamitato che gira sul quadrante e i fili conduttori che vi trasportano la corrente elettrica, è il *galvanometro*.

Per osservare la diversa facoltà emissiva delle varie superfici, si usa un vaso di latta di forma cubica, le cui faccie

lateralmente sono ricoperte di differenti sostanze, come carta, nero-fumo, lastre di vetro, lamine metalliche ec. Si pone il cubo pieno di acqua bollente dinanzi ad uno degli specchi di Pictet, e il termoscopio o il termo-moltiplicatore di Melloni al fuoco dello specchio opposto. Si osservano allora le indicazioni di questi strumenti corrispondenti alle differenti faccie del cubo presentate successivamente allo specchio. Ecco una tavola che indica il potere emissivo o irraggiante di diverse sostanze.

SOSTANZE	Potere emissivo
Nero-fumo.	100
Carta da scrivere	98
Vetro	90
Inchiostro della China	85
Ferro levigato	23
Mercurio	23
Amalgama da specchi	14
Ottone levigatissimo	7
Argento levigatissimo	3

Leslie aveva creduto di potere stabilire da una serie di esperienze, che ad egual temperatura le superfici scabre son quelle che emettono la maggior quantità di raggi calorifici, e che invece le superfici levigate son quelle che ne emettono la minor quantità; ma Melloni ha osservato che questa legge non si verifica che per le superfici metalliche, mentre che pei marmi, pei legni ec., l'influenza della scabrosità è nulla.

Potere riflettente dei corpi. Tutti i corpi non sono egualmente proprj a riflettere il calore. Alcuni, come vedremo in breve, ne riflettono pochissimo e lo trasmettono in gran parte; altri lo assorbono in gran parte e non ne riflettono e trasmettono che una piccola porzione. Per osservare qual'è la facoltà riflettente delle varie superfici, si può alterare la natura della superficie riflettente di uno specchio concavo, ricuoprendola successivamente di lamine metalliche, di nero-fumo, e di strati di qualunque altra sostanza. Le variazioni del termoscopio indicano allora quelle delle facoltà riflettenti. Si osserva per esempio, che ricuoprendo gli specchi di uno strato di nero-

fumo, il termoscopio posto al fuoco di uno di essi non indica alcun cambiamento di temperatura; se ne deduce che il nero-fumo non ha alcun potere riflettente, cioè a dire che assorbe tutto il calore irraggiato sulla sua superficie. In generale le superfici metalliche levigate sono quelle che meglio riflettono il calore. La tavola seguente indica alcuni risultati ottenuti su questo soggetto. In essa il potere riflettente dell'ottone è preso come termine di confronto, ed è indicato con 100.

SOSTANZE	Potere riflettente
Ottone.	100
Argento.	97
Stagno.	86
Ferro levigato.	77
Mercurio	77
Inchiostro della China	45
Vetro	10
Carta da scrivere	2
Nero-fumo.	0

Potere assorbente dei corpi. Quando dei raggi calorifici che emanano da un corpo caldo giungono sulla superficie di un corpo freddo, una porzione di questi raggi può esser riflessa, ed un'altra porzione trasmessa o assorbita. Quest'ultima è quella che riscalda il corpo che penetra. Si è dato il nome di *potere assorbente* a questa facoltà che posseggono i corpi di lasciarsi penetrare da una certa porzione dei raggi calorifici che cadono sulla loro superficie.

Le quantità di calore che un corpo assorbe dipendono dalla sua natura e da quella della sorgente calorifica.

Leslie fu il primo ad accorgersi che coprendo di nero-fumo uno specchio, questo cessava affatto di riflettere il calore e lo assorbiva intieramente. Ottenne questo fisico tal risultato coprendo di nero-fumo il bulbo del termoscopio collocato al solito al fuoco di uno specchio sferico, e posto dinanzi a un corpo di una temperatura costante.

I risultati generali dedotti dalle esperienze istituite sull'assorbimento del calorico raggianti sono i seguenti: 1.º i corpi

che assorbono più facilmente il calorico sono pure quelli che lo irraggiano in maggior quantità; 2.^o la facoltà riflettente dei corpi è in ragione inversa dell'assorbente e della emissiva.

Il rapporto inverso delle facoltà assorbente e riflettente non è rigorosamente esatto. Si è creduto tale finchè Melloni non ha riconosciuto che v'è per molti corpi una porzione di calore che non si riflette regolarmente, ma invece si disperde alla loro superficie. Perciò tutto il calore che viene a percuotere la superficie di un corpo che non trasmette calore attraverso di sè, non è solamente in parte assorbito e in parte riflesso; ma ben anco in parte disperso. Questa ultima facoltà dei corpi dicesi *potere diffusivo*. Se dessa non esistesse sarebbe esatto dire che la facoltà assorbente è complementaria della riflettente.

La proporzionalità tra la facoltà emissiva e l'assorbente è provata da un'esperienza di Dulong. Il vaso cilindrico *no* (Tav. VIII, Fig. 232) che si empie di acqua calda ha una delle basi coperta di nero-fumo, mentre l'altra base è fasciata di metallo lucente. Questo vaso è collocato fra i due bulbi di un termoscopio costituiti di due vasi cilindrici simili al vaso *no*. Uno di questi vasi *D* guarda con la base coperta di nero-fumo la base metallica del vaso *no*, l'altro *A* guarda l'altra base del vaso con una base lucente dello stesso metallo del vaso *no*. L'indice *BC* del termoscopio rimane stazionario allorchando i due bulbi sono egualmente distanti dalle basi del vaso intermedio. La quantità di calore che è emessa dalla faccia lucente del vaso intermedio è di tanto minore di quella che l'altra faccia nera emette, di quanto l'assorbimento della base nera d'uno dei bulbi del termoscopio supera l'assorbimento della base lucente dell'altro bulbo.

Influenza della natura della sorgente calorifica sulla facoltà assorbente dei corpi. Studiando la facoltà assorbente dei diversi corpi per le varie sorgenti di calore, il Melloni ha trovato che per un solo corpo questa facoltà era costante. Questo corpo singolare, che non si lascia traversare dal calore, di cui la diffusione è piccolissima e costante per tutte le sorgenti, che non riflette il calore, ma che lo assorbe interamente è il nero fumo. Gli altri corpi lo assorbono più o meno, e l'assorbimento varia in essi per una stessa quantità di calore, secondo che viene da

una sorgente di cui la temperatura è più o meno alta. Ecco un quadro dei risultati ottenuti dal Melloni, i quali provano che pel solo nero-fumo è costante la quantità dei raggi assorbiti, qualunque sia la sorgente calorifica, mentre è varia per gli altri. Queste esperienze si fanno disponendo le sorgenti a diversa distanza dai corpi che devono assorbire il calore, in modo che giunga sopra tutti la stessa quantità di calore. Se si rappresenta con 100 la quantità dei raggi assorbiti dal nero-fumo, le quantità che ne assorbono gli altri corpi per lo stesso numero 100 di raggi incidenti sono espresse dai numeri del quadro seguente:

SOSTANZE	Lampada	Spirale di platino incandescente	Lastra di rame a 400°	Acqua a 400°
Nero fumo.....	100	400	100	100
Carbonato di piombo...	53	56	89	100
Colla di pesce.....	52	54	84	94
Inchiostro della China...	96	95	87	85
Gomma lacca.....	43	47	70	72
Superficie metallica....	44	43,5	43	43

Può dirsi in generale che la quantità di calore assorbita è tanto più grande quanto più bassa è la temperatura della sorgente.

I principj da noi ora esposti non sono solamente interessanti sotto il rapporto scientifico; essi conducono ancora a delle numerose applicazioni pratiche. Così, per es., quando vorremo che un liquido caldo si raffreddi nel modo il più lento possibile, converrà tenerlo in un vaso di metallo lucido, piuttosto che in un vaso di terra o di porcellana; e ciò perchè abbiamo visto che le superfici metalliche lucide son quelle che irradiano meno. Per la stessa ragione i canali metallici destinati a trasportare il vapor d'acqua senza condensarlo, come quelli delle macchine a vapore, devono essere lucidi e risplendenti. Invece i canali nei quali si cerca di condensare il vapore potranno esser ricoperti di uno strato di nero-fumo o di qualunque altra sostanza che irraggi facilmente. Gli stessi

principj servono a spiegarci perchè certe vesti tengono più caldo o più fresco di altre; perchè, per es., gli abiti neri fanno più caldo di altri al sole di estate, mentre sono più freschi all'ombra, specialmente in tempo freddo. Nel primo caso infatti assorbono in troppo grande quantità i raggi calorifici, nel secondo invece irraggiano troppo. Parimente i vestiti bianchi devono essere freschissimi in estate perchè riflettono la maggior parte dei raggi calorifici, mentre che in inverno devono tenere più caldo degli altri perchè irraggiano meno abbondantemente il calore del corpo.

Trasmissione del calorico raggiante attraverso i solidi e i liquidi. Abbiamo detto che il calorico raggiante traversa l'aria senza perdere quasi nulla della sua intensità; ma oltre l'aria esso traversa ancora certi corpi solidi e liquidi. In generale le sostanze trasparenti come l'acqua, il vetro ed il cristallo di monte si lasciano traversare dal calore come dalla luce; ma questa trasmissione non ha luogo senza una perdita notevole dell'intensità calorifica dei raggi, una parte dei quali è impiegata a riscaldare il mezzo trasparente. Si è lunga pezza creduto che il calore fosse da questi corpi assorbito, e quindi irradiato dalla superficie opposta a quella per la quale si era operato l'assorbimento; ma Prevost fu il primo a dimostrare che ciò non avveniva in quella guisa, poichè avendo separato il termoscopio dalla sorgente calorifica per mezzo di una sottile lamina di acqua che scolava da un recipiente, osservò tuttavia l'innalzamento del termoscopio. Ora poichè il liquido di continuo si rinnovava non poteva suppersi che il termoscopio fosse riscaldato nel modo accennato. Si devono a De la Roche le prime importanti ricerche sulla trasmissione dei raggi calorifici attraverso i corpi. Questo fisico scoprì che quando la sorgente calorifica non ha un calore maggiore di quello dell'acqua bollente, i raggi di calore che ne emanano non si trasmettono in un modo sensibile attraverso una lamina di vetro, e che al di sopra di questa temperatura la quantità di calore che si perde nel passaggio dei raggi calorifici attraverso un diaframma di vetro è tanto più piccola quanto più alta è la temperatura del corpo da cui emanano. Così quando la temperatura di un corpo è di 182° non passa attraverso un diaframma di vetro che $\frac{1}{16}$ del

calore che giungerebbe direttamente; quando la temperatura del corpo è di 346° ne passa $\frac{1}{11}$; infine quando è di 960° ne passa $\frac{1}{2}$ ec. De La Roche osservò pure un altro fenomeno rimarchevole sullo stesso soggetto, cioè a dire che il calore che ha traversato una lamina di vetro, prova nel suo passaggio attraverso una seconda lamina una perdita proporzionalmente molto minore. Per es. una palla di ferro scaldata al rosso scuro faceva salire di $3\frac{1}{2}^{\circ}$ un termometro posto a una data distanza; interponendo un diaframma di vetro fra il corpo caldo e il termometro questo non saliva più di $4^{\circ}, 3$; in altri termini il calore trasmesso era eguale a circa $\frac{1}{2}$ del calore totale: interponendo un secondo diaframma di vetro, il termoscopio saliva di $2^{\circ}, 4$, cioè a dire che il calore trasmesso attraverso la 2.^a lamina di vetro era circa la metà di quello che aveva attraversato la prima.

Ma le ricerche le più complete e le più importanti sulla trasmissione del calorico raggianti attraverso i corpi, sono dovute all'illustrè nostro compatriotta Melloni. Egli ha chiamato *atermani* i corpi che arrestano il calorico raggianti, come fanno i corpi opachi per la luce; e *diatermani* quelli che si lasciano traversare dai raggi calorifici, nel modo stesso che i corpi trasparenti si lasciano traversare dalla luce. Nelle numerose sue esperienze sulla diatermanità dei corpi, il Melloni si è servito del termomoltiplicatore del Nobili, come indicatore delle quantità di calore; e come sorgente di calore egli ha adoprato: 1.^o una lampada a olio detta di Locatelli (1); 2.^o una spirale di platino resa incandescente dalla combustione dell'alcool; 3.^o una lastra di rame mantenuta collo stesso mezzo alla temperatura di 400° ; infine 4.^o un cubo pieno di acqua bollente. Le principali sostanze di cui ha sperimentato la *diatermanità*, situandole successivamente sul passaggio del calore, consistevano in lamine più o meno grosse di vetro trasparente o affumicato, di lastre di cristallo di monte, di gesso, di allume e di sal gemma. Nella Fig. 233, Tav. VIII

(1) Questa lampada è formata da un serbatoio che mantiene l'olio ad un livello costante in un piccolo becco rettangolare, nel quale situasi una calzetta cubica: la fiamma di questa lampada è sensibilmente costante, ed è questa la ragione per la quale Melloni l'ha preferita nelle sue ricerche.

vedesi la disposizione degli apparecchi nelle esperienze di Melloni. *B* è il galvanometro, di cui le deviazioni nell'ago servono a indicare l'intensità della corrente che il calorico irraggiato dalla sorgente *E* sviluppa agendo sulla pila termoelettrica *A*. La faccia *b* della pila coperta di nero fumo riceve i raggi calorifici, l'altra *a* è difesa da una specie di coperchio che si chiude a cerniera; *m* ed *n* sono i due fili metallici del galvanometro che comunicano cogli estremi della pila. In alcune esperienze la pila termoelettrica si munisce di uno specchio metallico di forma conica aperto verso il corpo che irraggia il calore. Ecco ora i principali risultati delle esperienze del Melloni.

1.° La quantità di calorico raggianti che traversa delle lastre di vetro della stessa grossezza, è tanto più grande quanto più levigata è la loro superficie.

2.° La quantità di calor raggianti che traversa diverse sostanze diatermane, diminuisce per ciascuna di esse col diminuire della temperatura della sorgente calorifica. Il cristallo di monte, per esempio che trasmette più della metà del calore della lampada di Locatelli, non dà passaggio che al quarto dei raggi provenienti dal platino incandescente, e ad alcuno di quelli provenienti dall'acqua bollente. Non v'ha che una sola sostanza, il sal gemma, che faccia eccezione a questa regola generale, e che si conservi diatermano allo stesso grado per qualunque sorgente calorifica. Qualunque sia la temperatura della sorgente calorifica che si presenti al sal gemma, questo corpo lascia costantemente passare la stessa frazione della quantità di calore della sorgente. Quando il sal gemma è affumicato presenta il singolar fenomeno di lasciar passare tanto più calore quanto più bassa è la temperatura della sorgente.

3.° La natura dei corpi diatermani ha una grande influenza sulla quantità di calore raggianti che può traversarli. Di tutti i corpi sperimentati da Melloni l'allume è quello che ne lascia passar meno. Così per esempio una lamina di allume limpida, di un millimetro di grossezza, lascia passare meno calorico raggianti di una lamina di cristallo di monte cento volte più grossa, e comparativamente, quasi opaca. Questo fatto fornisce un esempio rimarchevole della grande differenza

che esiste tra la diafanità ossia trasparenza per la luce, e la diatermanità ossia trasparenza pel calore. Vi sono molti altri fatti che provano che le sostanze le più diafane sono lungi dall'essere ancora le più diatermane. Una lastra di vetro affumicata in guisa che appena lasci scorgere attraverso di sé il disco del sole, lascia pertanto passare più facilmente il calorico raggiante di una lastra limpidissima di allume. Il vetro nero ed il quarzo affumicato, i quali sono presso che opachi, si lasciano pure traversare dal calorico raggiante.

4.° Il sal gemma, ossia il sal comune cristallizzato, è di tutti i corpi sperimentati il più diatermano. Una lamina di sal gemma lascia passare quasi la totalità, circa i $\frac{93}{100}$, del calor raggiante.

5.° Aumentando la grossezza di una lamina diatermana, la quantità di calore che passa diminuisce; le perdite però che son prodotte decrescono sempre per degli accrescimenti eguali di grossezza. Così per una lamina di vetro, le perdite prodotte da sei accrescimenti successivi di 1^{mm}, per una quantità di calorico raggiante espressa, per esempio, da 100, sono: 26,70, 5,10, 2,90, 1,90, 1,40, 1,15. Il sal gemma fa pure eccezione a questa legge. Esso lascia passare la stessa quantità di calore per delle grossezze variabili fra 2 e 40 millimetri.

6.° De la Roche aveva già osservato che il calor raggiante che ha traversato un mezzo diatermano diviene più atto a traversarne altri; ma il Melloni oltre al confermare questo fatto ha anche dimostrato che opponendo successivamente al passaggio del calor raggiante differenti lamine diatermane, la natura di questo calore è modificata in guisa da divenire più o meno capace di traversare altre sostanze diatermane, a seconda della natura di quelle già traversate. Egli ha, per esempio, osservato, che dei raggi di calore, dopo aver traversato una lastra di allume provavano molto minor perdita, traversando in seguito altri mezzi, di quella che avrebbero subito se avessero traversato una lastra di vetro o di cristallo di monte. Se si sostituisce all'allume del vetro annerito al punto di esser perfettamente opaco, i raggi calorifici che l'hanno traversato, divengono anche meno suscettibili di perdere una nuova porzione del loro calore. Infine una lamina di sal gemma non in-

fluisce minimamente sulla attitudine dei raggi calorifici a traversare i differenti mezzi diatermani; i raggi che hanno traversato il sal gemma agiscono nel modo stesso che se emanassero direttamente dalla sorgente calorifica;

7.° I liquidi sono, come i solidi, inegualmente diatermani. Fra quelli che sono stati sottoposti all'esperienza, il carburo di zolfo è il più diatermano, mentre l'acqua è il meno, non lasciando essa passare che una debolissima quantità di calore, specialmente se la sorgente non è molto calda. Le esperienze di Melloni sulla diatermanità dei liquidi sono state fatte, racchiudendoli in tubi chiusi da delle lamine di sal gemma, la qual sostanza lasciando passare quasi la totalità del calor raggianti non poteva influire sensibilmente sui risultati dell'esperienza.

Teoria del Melloni sulla costituzione dei raggi calorifici. Dagli accennati risultati, il Melloni ha dedotto che il calorico raggianti, a guisa della luce, non è semplice ed omogeneo. Nel modo stesso che si è costretti a riconoscere l'esistenza di raggi di luce di specie diversa per ispiegare il fenomeno dei colori, si è parimente condotti ad ammettere la esistenza di raggi calorifici di qualità diversa per rendersi conto dei fatti relativi alla diatermanità dei corpi. Melloni suppone che le diverse sorgenti calorifiche, quali sono per esempio, il sole, la lampada di Locatelli, il platino incandescente, il cubo d'acqua bollente, emettano ciascuna dei raggi calorifici di un gran numero di specie diverse, i quali distinguonsi gli uni dagli altri per la più o meno grande facilità che provano a traversare le sostanze diatermane. Ammettendo questa diversità nella qualità dei raggi calorifici, tutti i fatti relativi alla diatermanità dei corpi spiegansi facilmente. Così, se una stessa sostanza diviene sempre meno diatermana, a misura che la temperatura della sorgente diminuisce, ciò dipende perchè più questa sorgente è intensa, e più la quantità dei raggi facilmente trasmissibile è considerevole. La sola sostanza, perfettamente diatermana, il sal gemma, il quale lascia passare la stessa quantità di tutti i raggi, cioè a dire quasi la totalità, qualunque sia la natura della sorgente da cui provengono, o del diaframma che hanno traversato,

si comporta, rispetto al calorico raggianti, come il vetro rispetto alla luce, il quale trasmette egualmente tutti i raggi di colore diverso. Ne risulta, come abbiamo visto, che i raggi dopo aver traversato il sal gemma senza subire alcuna sensibile modificazione, si comportano in seguito, passando attraverso altri mezzi, come se emanassero direttamente dalla sorgente calorifica. Quando invece il calor raggianti ha traversato una sostanza che non trasmette che i raggi calorifici di una certa specie, la facilità che avrà a traversare una seconda sostanza di un'altra natura, dipenderà dalla proprietà che possiede questa sostanza di lasciar passare i raggi della stessa specie o quelli di una specie diversa. Così per es. i raggi che hanno già traversato una lamina di allume sono facilmente trasmessi attraverso una lamina di solfato di calce; mentre quelli che sono stati trasmessi attraverso un vetro nero sono tutti arrestati dalla stessa lamina di solfato di calce. E ciò che prova che questo doppio effetto dipende dalla qualità diversa dei raggi si è che quelli che hanno traversato l'allume non possono esser trasmessi attraverso il vetro nero.

2.^o *Propagazione del calorico per comunicazione.* Avendo studiato il modo di trasmissione del calorico per via d'irraggiamento, ci resta a studiare il modo con cui il calorico si trasmette fra i diversi corpi che trovansi in contatto immediato gli uni cogli altri, ovvero fra le molecole di uno stesso corpo. La cognizione di questo modo di trasmissione è indispensabile per istudiare le leggi del riscaldamento e del raffreddamento, giacchè quando la temperatura di un corpo differisce da quella di un altro o da quella dell'ambiente, il suo riscaldamento o il suo raffreddamento dipende non solo dai fenomeni di emissione, d'assorbimento o di riflessione che hanno luogo alla sua superficie, ma ancora dal modo più o meno rapido col quale il calore ricevuto si distribuisce nella massa.

Certi corpi hanno le loro molecole disposte in modo da essere più permeabili al calore di altri. Chiamasi *facoltà conduttrice* o *conducibilità*, quella per la quale i differenti corpi, tanto diatermani che atermi, accordano al calore un passaggio più o meno libero, o più o meno rapido da una molecola all'altra. I corpi che si lasciano facilmente traver-

sare dal calore e che prendono rapidamente la temperatura che devono acquistare diconsi *buoni conduttori*; mentre quelli attraverso i quali questo fluido difficilmente si propaga, e che sono più lenti a porsi in equilibrio di temperatura in tutte le loro parti, chiamansi *cattivi conduttori del calorico*.

Esaminiamo successivamente il modo di propagazione del calorico attraverso i solidi, i liquidi e i corpi gassosi.

Propagazione del calorico attraverso i corpi solidi. Nei corpi solidi il calorico si trasmette di strato in strato, diminuendo d'intensità. Si ammette che questa propagazione sia dovuta ad un irraggiamento da molecola a molecola, e che si compia quindi a distanze estremamente piccole, e in modo da estinguersi totalmente per poco che sia grosso l'intervallo fra le molecole o gli strati di un corpo. Per mezzo dell'esperienza si può facilmente acquistare idea del modo con cui il calore si propaga nei corpi solidi. Sia *AB* una sbarra metallica (*Tab. VIII, Fig. 234*), sottoposta colla estremità *A* ad una sorgente costante di calore, come per esempio un bagno di piombo fuso. Sulla sua lunghezza trovansi ad eguali distanze delle piccole cavità scavate nella sua grossezza, piene di mercurio, dentro le quali sono situati i bulbi di tanti termometri. La temperatura della sbarra s'inalza da prima successivamente in tutti i punti, ma giunge bentosto un istante in cui la temperatura di ciascuno di essi diviene stazionaria. Se la sbarra non provasse alcuna dispersione di calore, ogni termometro salirebbe gradatamente, finchè non fosse giunto ad acquistare la temperatura della sorgente; ma ciò non accade perchè ha luogo perdita di calore, e pel raggiamento e pel contatto della sbarra col mezzo in cui è posta. I termometri salgono necessariamente più adagio di quello che se la perdita fosse nulla, e non giungono mai alla temperatura della sorgente; si arrestano quando la quantità di calore ricevuta da ciascuna porzione corrispondente della sbarra è eguale a quella che perde pel raggiamento e pel contatto coll'aria. Allora lo stato termometrico della sbarra diviene stazionario, e la temperatura di tutti i termometri si trova decrescente dall'estremità in contatto della sorgente fino all'altra estremità. Inoltre si osserva che se le distanze dei punti, *A'*, *A''*, *A'''*, ec., in cui sono si-

tnati i bulbi dei termometri dalla sorgente calorifica sono in progressione aritmetica, le temperature di questi pnnti decre- scono in progressione geometrica. Così, se le accennate distan- ze saranno espresse dai termini d_1, d_2, d_3, d_4 , le tempera- ture corrispondenti potranno essere, essendo 100° la tempera- tura del punto A, 100, 50, 25, 12,5 ec.; ma la ragione della progressione geometrica colla quale decrescono le temperature dei varj punti di una sbarra metallica dipende dalla conduci- bilità propria della sbarra e dalla natura della sna superficie. Perciò operando su delle sbarre le cui facoltà irraggianti sieno rese eguali con degli strati di vernice, la ragione della pro- gressione geometrica delle temperature dei termometri non dipenderà che dalla conducibilità della sostanza della sbarra, per cui questa potrà da quella dedursi.

Si vede pure facilmente che la legge enunciata della pro- pagazione del calorico per le verghe metalliche può servire come mezzo termometrico; e come tale fu proposta dal Biot. Infatti una volta che sia determinata la relazione che passa fra la temperatura di una data sorgente e quella che prende il primo termometro posto a una data distanza dalla mede- sima, e le relazioni fra la temperatura di questo termometro e quella del seguente, le temperature che prenderanno questi due termometri ad un'altra sorgente ci somministreranno i dati per calcolare la temperatura di questa. Si potrebbe su questo principio costruire un pirometro con una verga di un determinato metallo, quando si trovasse un mezzo conveniente per garantire la verga e i termometri dall'influenza del ca- lore irraggiato dalla sorgente.

Il decrescimento del calore in una verga metallica è così rapido, che è impossibile inalzare di un grado la temperatura della estremità di una sbarra di ferro di sei piedi di lun- ghezza, scaldandola all'altra estremità. Il calore che bisogne- rebbe applicarvi sarebbe molto più forte di quello che sa- rebbe necessario per operare la fusione del metallo.

Quasi tutti i corpi solidi differiscono fra di loro sotto il rapporto della conducibilità del calore. Difatti ognuno sa, per esempio, che si può tenere in mano un tnbo di vetro ad una piccolissima distanza dal punto in cui è scaldato a rosso, men-

tre che se è una sbarra di ferro che è riscaldata a rosso ad una sua estremità, non si potrà tenere in mano che ad una distanza grandissima. Parimente si può senza inconveniente agitare un miscuglio frigorifico con un cucchiajo di legno, mentre non ci potremo servire di un cucchiajo di argento, senza che la mano risenta l'impressione del raffreddamento del metallo. Se toccansi successivamente varie differenti sostanze aventi la stessa temperatura, come per esempio del legno, del marmo ed un metallo, la prima di queste sostanze non sembrerà nè calda nè fredda, mentre il marmo, e specialmente il metallo, faranno provare una sensazione di freddo assai viva. Questa sensazione proviene dalla ineguaglianza del potere conduttore di queste tre sostanze; il legno essendo cattivo conduttore s'impadronisce lentamente del calore della mano, mentre il marmo e il metallo, che sono buoni conduttori se ne impadroniscono rapidamente, e questa rapida sottrazione del calore animale, produce una viva sensazione di freddo.

In generale i metalli sono i migliori conduttori; nondimeno i varj metalli differiscono sotto questo rapporto gli uni dagli altri. Gli ossidi metallici, le pietre, la porcellana, le terre ed il legno sono cattivi conduttori. Il legno particolarmente è un conduttore così imperfetto, che un pezzo di legno può bruciare ad una delle sue estremità senza scaldarsi a qualche pollice di distanza; da ciò l'uso di adattare dei manichi di legno agli utensili che servono a maneggiare il fuoco. Per la stessa ragione le case di legno sono eccellenti per l'abitazione nei paesi freddi. Nelle grandi città del Nord le case, ed anche i palazzi sono quasi tutti costruiti con mattoni e non con pietre, giacchè queste conducendo molto meglio il calore converrebbe dare ai muri di pietra una grossezza assai più considerevole per impedire l'accesso del freddo.

Si può rendere sensibile all'occhio l'ineguaglianza della facoltà conduttrice dei differenti corpi solidi per mezzo dell'apparecchio d'Inghenhouse. Consiste in una scatola rettangolare di latta *MN* (*Tav. VIII, Fig. 235*), guarnita lateralmente di un gran numero di tubnlature, dentro le quali sono saldate delle bacchette cilindriche eguali, *a, b, c, d, e, f*, di differenti sostanze. S'immergono tutte insieme nella cera fusa, e si

estraggono rapidamente. Il sottile strato di cera che le ricuopre si solidifica per raffreddamento. Quando la cera si è tutta solidificata si riempie il vaso *MN* d'olio bollente: il calore si propaga nelle bacchette, e si giudica dalla rapidità della fusione della cera su ciascuna di esse della rapidità colla quale propagano il calore. Secondo le esperienze d'Inghenhouse, l'argento e l'oro sono i metalli che meglio conducono il calore; dopo vengono il rame, lo stagno ed il platino quasi allo stesso grado, poscia il ferro, l'acciajo e il piombo; il vetro la porcellana e le terraglie sono inferiori ai metalli; il carbone ed i legni secchi conducono anche peggio.

L'indicato processo può ben far giudicare dell'ineguaglianza delle facoltà conduttrici dei varj corpi, ma non può darne un'esatta misura. Per determinare le conducibilità relative dei corpi solidi, bisogna ricorrere al processo che abbiamo già indicato, fondato sulla legge dei decrescimenti delle temperature lungo una sbarra esposta con una sua estremità ad una sorgente calorifica, ed immaginato da Despretz. Questo fisico indica le conducibilità relative dei principali metalli e di alcune altre sostanze coi numeri seguenti.

SOSTANZE	Facoltà conduttrici
Oro.	1000
Platino	984
Argento	673,0
Rame	898,2
Ferro	374,3
Zinco	363,0
Stagno	303,9
Piombo	179,5
Marmo	23,6
Porcellana.	12,2
Terra da fornelli.	11,4

Questi numeri non sono tutti esatti, giacchè l'esperienza ha provato che la legge della conducibilità su cui è fondato il processo di Despretz, non si verifica che pei corpi meglio conduttori, come sono i metalli; e che il marmo, la porcel-

lana, le terraglie ed i legni non la seguono. Quest'anomalia sembra dipendere dalla poco omogeneità di struttura dei rammentati corpi.

I fili metallici sono buoni conduttori, ma irraggiano il calore con grande rapidità. Per questa ragione un sottil filo di platino incandescente ad una estremità può tenersi colle dita a poca distanza senza risentirne riscaldamento sensibile. Questa proprietà dei fili metallici di disperdere con grande facilità il calore ha ricevuto una importantissima applicazione nella *lampada di sicurezza* immaginata da Davy. Consiste questa lampada in un lume ad olio, circondato da tutti i lati da una rete metallica a maglie piccolissime e fatta con un filo sottilissimo. Questa rete disperde siffattamente il calore che se si preme colla medesima la sommità di una fiamma, questa riman tronca, e non oltrepassa la rete. Da ciò ne avviene che nella lampada di Davy il calore della fiamma non si può comunicare allo ambiente; ond'è che serve ad impedire l'accensione del gas idrogeno carbonato che si sviluppa di sovente nelle miniere di carbon fossibile, la quale accensione avrebbe luogo con una lampada ordinaria.

Propagazione del calore attraverso i liquidi. La facoltà conduttrice dei liquidi è debolissima. In questi corpi il calore non passa che con grande difficoltà da una molecola all'altra, dimodochè l'irraggiamento molecolare è in essi estremamente debole. Ma nei liquidi la propagazione del calore avviene di ordinario in altra maniera. Siccome pel riscaldamento ogni strato liquido si dilata e diviene più leggiero, ne accade che prende tosto un movimento di ascensione, e trascina seco il calore di basso in alto. Questo fatto può esser reso evidente riscaldando il fondo di un vaso pieno di acqua in cui nuota della polvere d'ambra, la quale avendo presso a poco la stessa densità dell'acqua segue i suoi movimenti e indica all'occhio le direzioni di questi e le loro velocità. Lungo le pareti la polvere sale, mentre discende nel centro; quando il liquido si raffredda, le correnti cambiano di posizione. La ragione della posizione delle correnti nel riscaldamento e nel raffreddamento è facile a concepirsi; essa proviene da ciò, che il riscaldamento ed il raffreddamento hanno luogo principal-

mente per mezzo delle pareti del vaso; nel riscaldamento gli strati a contatto delle pareti sono i più caldi ed hanno la maggior forza ascensionale, mentre che nel raffreddamento essi sono più freddi e tendono a discendere maggiormente degli strati centrali. Sembra che il calore che si comunica ai liquidi dipenda quasi unicamente da questo spostamento successivo degli strati che li compongono. Lo strato inferiore, essendo il primo a riscaldarsi, sale, ed è rimpiazzato dallo strato sovrapposto; questo, a sua volta riscaldato, sale del pari, ed è rimpiazzato da uno strato più freddo, e così di seguito finchè la totalità del liquido non è giunta alla temperatura dell'ebullizione.

Se è vero che la propagazione del calorico nei liquidi avvenga quasi unicamente in grazia degli indicati movimenti, e non sia dovuta quasi per niente alla trasmissione di molecola in molecola, il calore non potrà discendere in un liquido, se non con estrema difficoltà; o, in altri termini, dev'essere presso che impossibile riscaldare un liquido ponendo la sorgente del calore in contatto della sola sua superficie superiore. E così accade realmente, come colla seguente esperienza lo ha dimostrato Rumfort, il quale negava assolutamente l'irraggiamento molecolare dei liquidi. Egli prese un vaso *ABCD*, (*Tav. VIII, Fig. 236*), in fondo al quale avea formata la massa di ghiaccio *MN* rigonfia in *P* attesa la dilatazione che l'acqua prova nel congelarsi. Al di sopra di questa massa di ghiaccio versò dell'acqua a 0° , e onde evitare qualunque trasmissione di calore per mezzo delle pareti del vaso, immerse questo nel ghiaccio in fusione fino all'altezza del ghiaccio interno. Allora immerse nell'acqua sovrastante alla massa di ghiaccio *MN* un recipiente metallico cilindrico, pieno di acqua bollente, ed osservò che non si fondeva la minima porzione di ghiaccio. Se l'esperienza fosse stata fatta inversamente, cioè a dire, se si fosse fatto galleggiare sull'acqua il ghiaccio, questo si sarebbe fuso prestissimo, non appena si fosse cominciato a scaldare la parte inferiore del vaso. Il fatto che il calore è incapace di discendere in un liquido può anche essere dimostrato bruciando dell'etere sulla superficie dell'acqua contenuta in un vaso, la cui parete è traversata da un termometro disposto

orizzontalmente. Questo termometro, il cui bulbo trovasi nell'acqua a meno di un pollice di distanza dall'etere in combustione, indicherà appena un leggiero innalzamento di temperatura. Accade lo stesso se invece di etere si versa sulla superficie dell'acqua una piccola quantità d'olio bollente.

Resulta da ciò che precede che ogni causa atta a rallentare lo spostamento degli strati di un liquido deve contribuire a ritardarne il riscaldamento o il raffreddamento. Rumfort ha fatto su questo soggetto un gran numero di osservazioni. Egli adoprava l'apparecchio indicato dalla *Fig. 237*, composto di un pallone di vetro *AB* chiuso da un tappo, attraverso il quale passava l'asta *ab* di un termometro, il cui bulbo trovavasi nel centro del pallone. Introduceva nel pallone, prima dell'acqua pura, quindi dell'acqua in cui aveva sospeso della pasta d'amido, dei frammenti di lana o del piumino. Riscaldava poi il pallone fino a 75° , quindi lo immergeva nell'acqua a zero, ed osservava il tempo necessario per produrre il raffreddamento di uno stesso numero di gradi. Egli osservò costantemente che il raffreddamento era tanto più lungo quanto meno liberi erano i movimenti dell'acqua.

Tutte le descritte esperienze tendono a dimostrare che i liquidi, piuttosto che condurre il calore lo trasportano. Non di meno le antiche esperienze di Murray di Edimburgo, mentre provano che i liquidi sono degl' imperfettissimi conduttori, dimostrano al tempo stesso che non sono intieramente privi della facoltà di trasmettere il calore di molecola in molecola. Egli pose il bulbo di un termometro nel fondo di un vaso cilindrico fatto con del ghiaccio, che riempì quindi di mercurio o di olio; poscia immerse nel liquido un corpo caldo, ed osservò che il termometro saliva di varj gradi. In questa esperienza la comunicazione del calore non poteva essere attribuita al vaso, perchè il ghiaccio essendo a zero fondevasi pel calore senza riscaldarsi. Deve osservarsi che l'esperienza fatta col mercurio è la sola che dimostri che la propagazione del calore ha luogo per irraggiamento molecolare, giacchè pei liquidi trasparenti l'innalzamento della temperatura potrebbe dipendere dalla trasmissione diretta del calorico raggianti del corpo attraverso il liquido.

Propagazione del calore attraverso i gas. La facoltà conduttrice dei gas sembra essere anche più debole di quella dei liquidi. La propagazione del calore attraverso di essi effettuasi come nei liquidi pel loro contatto coi corpi solidi riscaldati e pei movimenti risultanti dalle ineguaglianze di temperatura. I gas essendo anche più dilatabili e più mobili dei liquidi, s'intende facilmente che i cambiamenti di temperatura debbano produrre in questi fluidi delle correnti più numerose e più rapide. Si può dimostrare questo modo di propagazione del calore attraverso i gas, sottoponendo al riscaldamento una massa d'aria nella quale si sono introdotti dei corpi leggieri che oppongansi ai movimenti prodotti dalla ineguaglianza di temperatura, come della lanugine, del piumino, del cotone cardato ec.: la comunicazione del calore si effettua allora con molta maggior lentezza di quando l'aria è libera. Dopo ciò, è molto probabile che i corpi leggieri, filamentosi e molto divisi, come il piumino, la lana, la seta, l'ovatta, le pellicce, la paglia, ec. i quali sono cattivissimi conduttori del calore, debbano in gran parte questa loro proprietà all'aria interposta, la quale non può prendere i movimenti che il calore le imprimerebbe, non solo per l'ostacolo meccanico che la diffusione dei filamenti oppone loro, ma ben anco per una particolare attrazione che i corpi porosi esercitano sui gas. Per la stessa ragione anche i corpi ridotti in polvere divengono cattivi conduttori del calore. Così la polvere di carbone, la segatura di legno, la sabbia ed il vetro pesto conservano benissimo il calore.

Legge del raffreddamento dei corpi. Un corpo caldo abbandonato a sè stesso nello spazio, perde tanto più calore in un tempo determinato, quanto più alta è la sua temperatura al di sopra di quella del mezzo circondante.

Newton ammesse *a priori* che un corpo scaldato e sottoposto ad una causa costante di raffreddamento, qual sarebbe l'azione d'una corrente uniforme d'aria, provi ad ogn'istante una perdita di calore proporzionale all'eccesso della sua temperatura su quella del mezzo circondante, e che in conseguenza le perdite di calore formino una progressione geometrica decrescente. Questa legge significa che se fra due corpi che differi-

scono di temperatura di 100° , si esprime con 1 la quantità di calore che il più caldo perde in 1" di tempo, questa perdita si ridurrà a $\frac{1}{2}$, se la differenza delle due temperature sarà ridotta a 50° .

La legge di Newton rappresenta assai esattamente l'andamento del raffreddamento di un corpo quando l'eccesso della sua temperatura su quella del mezzo non sorpassa i 30° o i 40° . Ma al di là, la differenza tra il calcolo e l'esperienza è tanto più grande quanto più considerevole è l'eccesso. Ciò risulta dalle esperienze di un gran numero di fisici, e specialmente di Dulong e Petit.

Ecco rappresentati i resultamenti di una di queste esperienze :

Eccessi di temperatura su quella dello spazio	Velocità del raffreddamento, ossia numero dei gradi perduti du- rante un tempo determinato, scelto come unità.
240°	10 ⁶ ,69
220°	8,84
200°	7,40
180°	6,40
160°	4,49
140°	3,88
120°	3,82
100°	2,30
80°	1,34

Questo quadro pone benissimo in evidenza l'inesattezza della legge che suppone l'irraggiamento proporzionale all'eccesso di temperatura, giacchè infatti secondo questa legge, la velocità del raffreddamento a 200° dovrebbe essere doppia di quella a 100° , mentre il quadro ci mostra che è quasi tripla; ossia il raffreddamento a 100° dovrebbe essere di 3⁷, mentre non è che di 2³⁰. Dunque il raffreddamento è più lento di quello che la legge darebbe. La stessa esperienza ripetuta con dei corpi differenti per la massa, la forma e la natura, dà sempre gli stessi resultati, cioè a dire lo stesso rapporto fra due raffreddamenti consecutivi. Perciò la legge del raffreddamento è la stessa per tutti i corpi. Questa legge è la stessa, sia nel

vuoto che nell'aria e nei gas; ma nel primo caso il raffreddamento è dovuto soltanto all'irraggiamento, mentre nel secondo è dovuto anche alla perdita prodotta dal contatto del fluido, per cui in questo caso il raffreddamento è più rapido.

Dulong e Petit si occuparono a determinare qual parte avevano nel raffreddamento dei corpi, l'irraggiamento e il contatto dell'aria o di un gas qualunque. Perciò determinarono prima il raffreddamento dei corpi nel vuoto, e quindi nell'aria e nei varj gas a densità e tensioni diverse. La differenza dei risultamenti nei due casi era l'effetto dovuto al contatto del fluido. Questa differenza dovuta al contatto dell'aria all'ordinaria pressione, è indicata nel quadro seguente:

Eccesso di temp. ^a del corpo su quella del recinto	Velocità nell'aria	Velocità nel vuoto	Differenza o velocità dovuta al solo contatto
200°	44°,04	8°,56	5°,48
180°	44°,76	7°,04	4°,75
160°	9°,85	5°,68	4°,17

Il loro modo di sperimentare era il seguente. Introducivano un grosso termometro pieno di mercurio e riscaldato nel centro di un pallone di rame internamente annerito e immerso in un bagno d'acqua tenuta a temperatura costante. Notavano prima il tempo impiegato ad abbassarsi d'un certo numero di gradi nell'aria; poi ripetevano l'esperienza dopo avere estratto l'aria, e quindi introducendo altri gas, e infine variandone la tensione. Giunsero in questo modo a stabilire che il calore perduto da un corpo pel contatto dei gas è indipendente dalla natura della sua superficie, che è diverso secondo la natura del gas, essendo per esempio per l'idrogeno triplo di quello che è per l'aria e che cresce colla forza elastica e colla densità del gas.

In quanto al raffreddamento in uno spazio assolutamente vuoto e privo di calore, Petit e Dulong dedussero dalle loro

esperienze, che se fosse possibile di porre il corpo a raffreddare nelle accennate condizioni, le velocità di raffreddamento diminuirebbero secondo i termini di una progressione geometrica per delle temperature decrescenti come i termini di una progressione aritmetica.

La velocità del raffreddamento in uno spazio vuoto ma dotato di calore, non dipende che dallo eccesso di temperatura del corpo, e dal suo potere emissivo. Essa non di meno non è eguale per uno stesso eccesso di temperatura, ma diviene sempre maggiore a misura che quest'eccesso ha luogo in una porzione più alta della scala termometrica. Così per esempio un termometro che segna 300° in uno spazio a 200° perde molto più che se fosse a 200° in uno spazio a 100° .

La massa, la capacità calorifica, la facoltà conduttrice, lo stato della superficie, la natura del mezzo circondante esercitano un'influenza grandissima sul raffreddamento dei corpi. Noi esamineremo successivamente queste diverse circostanze.

L'analisi dimostra che il rapporto dei tempi del raffreddamento di due sfere è eguale al rapporto dei quadrati dei diametri, se queste sfere hanno delle grandi dimensioni, ed è eguale al semplice rapporto dei diametri se le sfere sono piccole. Despretz ha fatto in proposito delle esperienze che accordansi assai coll'analisi. Una sfera di zinco del diametro di $0^{\text{m}},067$ perde 10 gradi di calore in $4',21''$; un'altra sfera del diametro di $0^{\text{m}},093$ perde 10 gradi in $6',29''$. Il rapporto dei tempi del raffreddamento è 1,48, quello dei diametri è 1,40; il risultato dell'esperienza è intermedio fra i due risultati indicati dall'analisi, perchè infatti i diametri delle due sfere non sono nè grandissimi nè piccolissimi.

La capacità calorifica e la conducibilità, hanno pure una grandissima influenza sul raffreddamento. Per esempio, tutte le altre circostanze essendo eguali, una massa d'acqua esige molto più tempo per raffreddarsi di un certo numero di gradi, che una stessa massa di rame di cui la capacità non è che $\frac{1}{1000}$ di quella dell'acqua. Parimente è facile intendere che il raffreddamento è tanto più rapido, quanto più facile è il movimento del calorico nell'interno dei corpi, ossia quanto più grande è la loro conducibilità.

L'agitazione dell'aria affretta pure grandemente il raffreddamento, come c'insegnano una infinità di giornalieri osservazioni. La rapidità del raffreddamento dipende ancora dallo stato della superficie. Così per esempio una palla di ferro a superficie levigata del diametro di 0^m,067 si raffredda di 10 gradi in 9',54"; la stessa palla arrugginita colla sua esposizione all'aria umida perde 10° in 6'. Coperta di uno strato di vernice, fa la stessa perdita in 5',44; infine coperta di due altri strati si raffredda anche più presto, poichè non esige che 5',40 per perdere lo stesso numero di gradi; ma già abbiamo visto quanto sia diverso il potere irraggiante delle diverse superfici per più insistere su questo soggetto.

4.° Della Calorimetria.

La *Calorimetria* ha principalmente per iscopo la misura delle quantità di calore atte a produrre lo stesso innalzamento di temperatura su masse eguali di corpi diversi. Diconsi però anche *processi calorimetrici* quelli che servono a misurare la quantità di calorico assorbita dai corpi nel loro cambiamento di stato, o quella ancora che si svolge nella combustione o in qualsiasi altra azione calorifica. Dei primi abbiamo già parlato; dei secondi diremo trattando delle sorgenti del calore.

Per lungo tempo si credè che a pesi eguali le diverse sostanze contenessero la stessa quantità di calore quando mostravano la stessa temperatura; ma Black fino dal 1760 dimostrò che i differenti corpi, presi sotto una medesima massa, esigevano quantità diverse di calore per riscaldarsi di uno stesso numero di gradi del termometro. Per esempio la quantità di calore necessaria per innalzare un chilogrammo d'acqua da 0° a 3° è sufficiente per innalzare la temperatura di uno stesso peso di mercurio da 0° a 97°. Le quantità relative di calore assorbite dai varj corpi sotto lo stesso peso, per innalzare la loro temperatura di uno stesso numero di gradi, chiamansi *calori specifici*, i quali servono a indicare le *capacità calorifiche dei corpi*, ossia la più o meno grande loro attitudine a contenere il calorico. Per misurare le capacità calorifiche dei corpi si è convenuto di riferirle a quella dell'acqua che prendesi per unità.

Dicesi unità di calore o *caloria* quella quantità di calore che è necessaria per inalzare un chilogrammo d'acqua di un grado del termometro centigrado.

Nei varj metodi che impieghansi per determinare le capacità calorifiche dei corpi solidi e liquidi, si ammette che queste capacità sieno costanti per uno stesso corpo a qualunque temperatura, cioè che sia sempre necessaria la stessa quantità di calore per inalzare di uno stesso numero di gradi la temperatura di un corpo, qualunque sia questa temperatura. Questa legge risulta da ciò che la temperatura del miscuglio di due masse eguali di uno stesso corpo a delle temperature diverse è la media di queste temperature. Infatti se mescolasi un chilogrammo d'acqua a 20° con un chilogrammo d'acqua a 50° , la temperatura del miscuglio è di 35° ; per conseguenza il calore che si è svolto dalla seconda massa per raffreddarsi di 15° è eguale a quello che è stato assorbito dalla prima per riscaldarsi dello stesso numero di gradi; d'onde segue che l'acqua assorbe tanto calore per passare da 20° a 35° quanto per passare da 35° a 50° . Questa legge però non è esatta, giacchè vedremo bentosto che le capacità calorifiche crescono colla temperatura; ma poichè questi accrescimenti sono debolissimi, si possono riguardare le capacità come costanti fra dei limiti di temperatura assai lontani. Si determina generalmente il calorico specifico dei corpi coi tre metodi diversi che andiamo ad accennare: col metodo del *calorimetro*, col metodo dei *miscugli*, e col metodo del *raffreddamento*.

Metodo del calorimetro di Lavoisier e Laplace. In questo metodo si prende per misura della capacità calorifica di un corpo la quantità di ghiaccio che è capace di fondersi nel passare da una certa temperatura a quella del ghiaccio stesso. Il ghiaccio per fondersi assorbe il calore dei corpi coi quali si trova in contatto; quindi è che la quantità di ghiaccio che fonde si è proporzionale alla quantità di calore assorbito. Supponendo di prendere dei pesi eguali di tutti i corpi, di riscaldarli alla stessa temperatura, e di metterli poi ad uno ad uno in una cavità di un grosso pezzo di ghiaccio, le quantità di calore che perderanno nel passare alla temperatura di 0° , saranno proporzionali alle quantità di ghiaccio che avranno

fuso, e quindi queste saranno proporzionali alle loro capacità calorifiche. Non è però necessario per le determinazioni delle capacità calorifiche di operare su dei corpi che abbiano lo stesso peso e la stessa temperatura; basta di conoscere esattamente il loro peso e le loro temperature iniziali: dividendo la quantità del ghiaccio fuso per la temperatura del corpo all'istante della sua immersione nel calorimetro e pel suo peso, si otterrà la quantità di ghiaccio fuso dalla unità di peso e da un raffreddamento di un grado, giacchè la quantità di calore svolta da uno stesso corpo ad una data temperatura è sensibilmente proporzionale al suo peso. Se g è il peso del ghiaccio fuso da un corpo, il cui peso è p , e la cui temperatura

è t ; $\frac{g}{t \times p}$ sarà il peso del ghiaccio fuso dallo stesso corpo sotto

l'unità di peso e di temperatura. Avendo così determinato le quantità di ghiaccio fuso dai diversi corpi nel raffreddarsi di 1° sotto l'unità di peso, convien dividere queste quantità per quella che è relativa all'acqua; ora dalle esperienze di Laplace e Lavoisier, un chilogrammo d'acqua a 75° raffreddandosi fino a 0° fonde un chilogrammo di ghiaccio, perciò la quantità di ghiaccio che fonderebbesi per un raffreddamento di un grado è eguale a $\frac{1}{75}^{\text{ch}} = 0,01333$: conseguentemente dividendo per 0,01333 i numeri ottenuti per un chilogrammo dei diversi corpi, si otterranno le loro capacità calorifiche. L'apparecchio di Lavoisier e Laplace si compone di tre involucri metallici concentrici *IMKL*, *EFGH* e *ABCD* muniti di coperchi corrispondenti (*Tav. VIII, Fig. 238*). Per mezzo dei robinetti *O* ed *N* si fa uscire l'acqua formata separatamente nei due recipienti *EFGH* e *IKLM* che si riempiono di pezzi di ghiaccio. Il recipiente *ABCD* è formato di una rete metallica, ed è destinato a ricevere il corpo riscaldato ad una certa temperatura. Finita l'esperienza, si raccoglie l'acqua fusa dal corpo caldo, aprendo il robinetto *O*, e si pesa. È certo che il calore esterno non può avere influito sulla fusione del ghiaccio racchiuso nel recipiente *EFGH*, atteso che questo recipiente era circondato da ogni lato di ghiaccio, essendone pieno tutto l'involucro *IKLM*, come anche il suo coperchio. Questo metodo presenta una causa di errore, di cui è impossibile valutare l'influenza.

Se la temperatura esterna è al disotto di 0° , quando s'introduce il ghiaccio nell'apparecchio, esso sarà asciutto, mentre che al termine dell'esperienza il ghiaccio che rimarrà sarà umido; conseguentemente tutta l'acqua proveniente dal ghiaccio fuso pel raffreddamento del corpo non sarà scolata: se invece s'introduce il ghiaccio essendo l'aria ad una temperatura superiore a 0° , esso sarà umido, e l'acqua scolata si comporrà in parte di quella che bagnava il ghiaccio in principio. In ambedue i casi è impossibile di valutare anche approssimativamente la quantità d'acqua che ricuopre i pezzi di ghiaccio. Inoltre questo metodo esige delle quantità troppo grandi dei corpi sui quali vuolsi sperimentare.

Metodo dei miscugli. Allorquando si mescolano due masse eguali di uno stesso liquido a temperature diverse, il miscuglio prende una temperatura, che è la metà della somma delle loro temperature. Così se mescolasi un chilogrammo d'acqua a 90° con un chilogrammo d'acqua a 10° , la temperatura del miscuglio diverrà eguale a 50° . Se invece di masse eguali prendonsi masse diverse dello stesso liquido, la temperatura del miscuglio diviene eguale alla somma dei prodotti delle masse mescolate per le rispettive temperature, divisa per la somma delle masse stesse. Così mescolando un chilogrammo d'acqua a 20° con 4 chilogrammi d'acqua a 100° , la temperatura del miscuglio sarà di 84° .

Questo importante principio, conosciuto col nome di *Principio dei miscugli*, non si applica al caso in cui il miscuglio si faccia fra due liquidi diversi. Se mescolasi ad un liquido un altro corpo qualunque che non abbia azione chimica su di esso, e dotato di temperatura diversa, la temperatura del miscuglio dipenderà in questo caso non solo dai pesi dei due corpi e dalle loro temperature primitive, ma ben anco dalle loro capacità calorifiche, e potrà servire a determinare il rapporto di queste ultime, tutte le altre circostanze essendo note. Per esempio se mescolasi un chilogrammo d'acqua a 0° con un chilogrammo di mercurio a 100° , la temperatura del miscuglio invece di essere di 50° , come dovrebbe per l'enunciato principio dei miscugli, sarà invece di 3° ; conseguentemente la quantità di calore che è stata abbandonata dal mercurio per

raffreddarsi di 97° . Ha scaldato il medesimo peso di acqua di 3° : la capacità calorifica dell'acqua rispetto a quella del mercurio è dunque come 97 a 3 o come 32,33 ad 1. In generale, *le capacità calorifiche di due corpi che si sono mescolati a pesi eguali sono in ragione inversa dei loro cambiamenti di temperatura.*

Se i pesi dei corpi fossero ineguali si giungerebbe pure facilmente alla determinazione della capacità calorifica di uno di essi rispetto all'altro. Siccome la capacità calorifica dell'acqua è presa per unità di misura, si adopra costantemente questo liquido in queste ricerche, e si mescola all'altro corpo di cui si vuol trovare il calore specifico e che prendesi ad una temperatura superiore a quella dell'acqua. Sia M la massa d'acqua fredda, C la sua capacità, t la sua temperatura, m la massa del corpo caldo, T la sua temperatura, C' la sua capacità, e T' la temperatura del miscuglio; la temperatura dell'acqua si sarà innalzata di $T'-t$. La quantità di calore assorbito da questo liquido può essere espressa da $M C (T'-t)$, poichè è chiaro che il calore necessario per far variare un corpo di un certo numero di gradi è proporzionale alla sua massa ed alla sua capacità calorifica. Parimente la perdita del calore provata dal corpo caldo può rappresentarsi da $m C' (T-T')$. Ora poichè l'acqua non ha acquistato che la quantità di calore che l'altro corpo ha perduto, se ne deduce che $M C (T'-t)$ è eguale a $m C' (T-T')$, da cui $C : C' :: M (T'-t) : m (T-T')$, ossia che *le capacità calorifiche sono in ragione inversa dei prodotti del peso di ciascun corpo pel proprio cambiamento di temperatura.*

Così suppongasi di avere a determinare la capacità calorifica del ferro dai seguenti dati.

Acqua, 2 chilogrammi alla temperatura iniziale di 12° .

Ferro, 1,8 chilogrammi alla temperatura iniziale di 100° .

Temperatura finale del miscuglio, 20° .

Il calorico specifico del ferro sarà eguale a

$$\frac{2 (20-12)}{1,8 \times 100-20} = \frac{16}{1,8 \times 80} = \frac{16}{144} = 0,111.$$

Questo metodo dei miscugli è certamente il più diretto per determinare il calorico specifico dei corpi. Si anderebbe però

incontro a gravi errori nel praticarlo, quando si trascurassero le cause d'errore che sono ad esso inerenti. La prima di queste dipende dal calore assorbito dal vaso, la seconda dal raffreddamento che ha luogo mentre si opera il miscuglio. Si corregge l'errore che proviene dalla prima causa aumentando il peso dell'acqua del peso del vaso moltiplicato pel rapporto della sua capacità calorifica a quella del liquido. Se la capacità calorifica del vaso non fosse nota, si potrebbe direttamente determinare per mezzo di un'osservazione preliminare. Si può anche correggere determinando precedentemente di quanto si abbassa la temperatura di un dato peso di acqua ad una certa temperatura a contatto del vaso che ha una temperatura più bassa, ed aggiungendo, colle debite proporzioni, questa quantità alla temperatura del miscuglio. In quanto all'errore proveniente dal raffreddamento dovuto al calorico che si disperde nell'aria durante l'operazione, si può render piccolissimo prendendo i pesi dell'acqua e dell'altro corpo, ovvero le loro temperature, in guisa che la temperatura del miscuglio differisca di poco da quella dell'aria, ed effettuando prontamente il miscuglio.

Metodo del raffreddamento. Questo metodo immaginato da Mayer è fondato sul principio che due corpi terminati da superfici egualmente irraggianti e ad eguale temperatura perdono nello stesso tempo la stessa quantità di calore; talchè quello che ne possederà in maggior copia impiegherà maggior tempo a raffreddarsi dello stesso numero di gradi dell'altro. Ma la quantità di calorico che in un dato intervallo di tempo emette un corpo è anche proporzionale alla sua massa. Essendo dunque m , m' le masse dei corpi, c e c' i loro calori specifici, e t e t' i tempi di egual raffreddamento, si avrà la proporzione $m c : m' c' :: t : t'$; ossia i tempi sono proporzionali ai pesi dei corpi moltiplicati per le loro capacità calorifiche. Da ciò si ricava che $c : c' = \frac{t}{m} : \frac{t'}{m'}$ ossia che le capacità calorifiche dei corpi sono proporzionali ai tempi di egual raffreddamento, divisi pei pesi rispettivi dei corpi.

Se i corpi sono liquidi o in polvere si pongono in piccoli vasi d'argento o di rame a pareti assai sottili. Se sono solidi,

e specialmente metallici, si riducono in cilindri di eguali dimensioni, e si ricuoprono di uno strato di vernice affinchè presentino la stessa superficie irradiante. Quando si fa uso del piccolo vaso metallico bisogna tener conto del suo calorico specifico e della sua massa. Sia m'' la sua massa e c'' il suo calorico specifico; le quantità di calorico perdute durante i tempi t e t' saranno proporzionali alle quantità $m'' c'' + m c$ ed $m'' c'' + m' c'$; talchè si avrà $m'' c'' + m c : m'' c'' + m' c' = t : t'$.

*Quadro delle capacità calorifiche determinate
da Lavoisier e Laplace.*

NOMI DELLE SOSTANZE	Capacità calorifiche
Acqua.	1,0000
Piombo	0,0283
Mercurio	0,0290
Stagno	0,0475
Ferro battuto	0,1105
Zolfo	0,2085
Olio d'oliva	0,3096
Acido solforico (Dens. 1,87)	0,3346

*Capacità calorifiche determinate col metodo
del raffreddamento.*

NOMI DELLE SOSTANZE	Capacità calorifiche
Acido solforico (Dens. 1,84)	0,350
Alcool (Dens. 0,84)	0,700
Essenza di Trementina	0,472
Sal comune	0,230

*Capacità calorifiche determinate col metodo dei miscugli
da Dulong e Petit.*

NOMI DELLE SOSTANZE	Capacità calorifiche
Acqua.	1,000
Mercurio	0,033
Argento.	0,055
Rame.	0,094
Ferro.	0,109
Vetro.	0,177

Dulong e Petit, nelle loro determinazioni fatte alle temperature le più diverse, giunsero a scuoprire due leggi generali molto importanti. La prima di queste si è che mentre la capacità dei corpi solidi e liquidi è costante da 0° a 100°, cessa di esserlo a temperature più alte; e benchè per i diversi corpi cresca con una legge diversa, è però costante che per tutti cresce colla temperatura. Quella quantità di calore che innalza di 1° la temperatura di un corpo nell'intervallo da 0° a 100°, non è sufficiente a temperature più alte. Così per il ferro, Dulong e Petit hanno trovato che la capacità pel calore è

0,1098 da 0° a 100°

0,1150 da 0° a 200°

0,1218 da 0° a 300°

0,1255 da 0° a 350°

La seconda legge scoperta da Dulong e Petit è relativa ai rapporti delle capacità calorifiche dei corpi semplici coi loro pesi atomici, da cui risulta che gli atomi dei corpi semplici sono dotati tutti dello stesso calorico specifico. Ma questa legge spetta più particolarmente alla chimica.

Capacità calorifica dei gas. La capacità calorifica dei gas diminuisce quando la pressione aumenta, ed aumenta invece quando la pressione diminuisce; è questa la ragione per la quale i fluidi aeriformi si riscaldano quando vengono compressi, e si raffreddano colla dilatazione. L'alta temperatura

che infiamma l'esca nell'acciarino pneumatico è una conseguenza della diminuita capacità calorifica dell'aria per la compressione. Al contrario l'aria compressa entro un recipiente, la quale esca con impeto da un robinetto che le dia adito, produce un freddo intensissimo; non solo raffredda il termometro che le si presenta, ma è ancora capace di congelare il vapore acquoso che seco trasporta o che incontra. L'esperienza può esser fatta facilmente mediante una macchina di compressione. Nelle miniere in cui si fa uso di macchine idrauliche nelle quali vi sono delle grandi masse d'aria umida e compressa, il fenomeno si riproduce ogni volta che si aprono i grossi robinetti che le danno adito. Vedesi tosto una brina abbondante ricuoprire i corpi esposti al getto dell'aria.

Molti fisici si sono occupati di determinare le capacità calorifiche dei varj gas rispetto a quella dell'aria. Le capacità calorifiche di questi corpi sono prese non più per un peso costante di gas, ma per un volume costante e sotto una data pressione. Si paragonano cioè le quantità di calore che sono necessarie per inalzare di un grado la temperatura di volumi eguali dei diversi gas presi tutti sotto la stessa pressione. Questo modo di considerare la capacità calorifica dei gas è richiesto dalla loro natura. Difatti abbiamo già osservato che tutte le proprietà fisiche dei gas seguono delle leggi identiche e semplicissime, se vengono riferite a volumi eguali di questi fluidi. Il metodo più generalmente impiegato in queste ricerche, consiste nel far circolare per mezzo di un serpentino, una corrente di gas a una data temperatura, attraverso dell'acqua dotata di una temperatura diversa, e notare il cambiamento prodotto in questa dal passaggio di volumi eguali di gas differenti. Il risultato più importante delle ricerche di Delaroche e di Berard su questo soggetto, si è che le capacità calorifiche dei gas semplici a volumi e pressioni costanti sono le stesse per tutti. Quelle de' gas composti differiscono alquanto fra di loro. Il calorico specifico dell'aria atmosferica rispetto a quello di un peso eguale di acqua è di 0,266, quello dell'acqua essendo rappresentato da 1. La mancanza di utilità pratica nelle ricerche relative alla determinazione delle capa-

cità calorifiche dei gas, ci dispensa da entrare in maggiori dettagli e schiarimenti, che sarebbero necessari a bene intendere i metodi usati in tali determinazioni.

5.° *Delle sorgenti del calorico.*

Le sorgenti del calore sono di due specie: le une sono permanenti, le altre accidentali. Le prime consistono nel sole, nelle stelle, e nella terra stessa; le seconde sono la percussione, la confricazione, la pressione, il cambiamento di stato dei corpi, l'elettricità, le azioni chimiche, e la respirazione animale, che è causa principale del calore degli animali a sangue caldo. Noi parleremo prima delle sorgenti accidentali perchè ci sembra conveniente legare lo studio delle sorgenti permanenti del calorico, a quello dei fenomeni meteorologici dovuti a questo fluido, col quale termineremo il Trattato del calorico.

1.° *Sorgenti accidentali del calorico.* — *Percussione.* Ognun sa che i metalli battuti sull'incudine si scaldano spesso al punto di scottare la mano. Un pezzo di piombo può fondersi colla prolungata percussione sull'incudine. Nell'acciarino le scintille di fuoco che si producono, son composte di piccoli frammenti di ferro che il calore prodotto dalla percussione della pietra focaja basta ad infiammare. Alcuni fisici hanno attribuito il calore prodotto dalla percussione ad un ravvicinamento forzato delle molecole, che farebbe passare una certa quantità di calor latente allo stato di calor sensibile. Ma questa causa non può esser sola, giacchè il piombo, che non aumenta sensibilmente di densità quando si percuote, si scalda non di meno come gli altri metalli. L'influenza dell'aumento di densità sembra provata dall'osservazione di Berthollet, che il calore sviluppato colla percussione diminuisce reiterando quest'azione. Questo fisico, facendo battere delle monete osservò, che la quantità di calore sviluppata colla percussione diveniva tanto minore quante più volte la stessa moneta era stata battuta, e questa diminuzione doveva provenire dalla minore condensazione che provavano le monete nelle successive percussioni.

Confricazione. Quando si confricano due corpi insieme si sviluppa una quantità di calore, che è tanto più grande quanto più rapida è la confricazione. Ognun sa che la confricazione troppo rapida delle ruote intorno agli assi ne produce spesso l'infiammazione, e che alcuni abitanti di paesi selvaggi si procurano il fuoco confricando insieme due pezzi di legno secco. Il cavalier Davy è riuscito a fondere una porzione di due frammenti di ghiaccio confricandoli insieme, in un ambiente in cui la temperatura era al di sotto di zero. Rumfort facendo forare dei cannoni riuscì a far bollire 18 libbre di acqua per mezzo del calore che producevasi nella confricazione del trapano contro il pezzo.

Compressione. Allorquando un corpo prova una diminuzione di volume per mezzo della pressione, il calorico se ne svolge, nel modo stesso che l'acqua sgorga da una spugna compressa. I corpi solidi e liquidi, non essendo suscettibili di provare una notevole diminuzione di volume colla semplice pressione, non sviluppano sensibilmente calorico; i corpi gassosi invece, essendo molto compressibili, ne sviluppano una grandissima quantità. Si dimostra con un apparecchio al quale si è dato il nome di *acciarino pneumatico*, che la subitanea compressione dell'aria per mezzo di uno stantuffo che scorre a sfregamento in un grosso tubo di vetro o di ottone, produce uno sviluppo di calore capace di accender l'esca. Quando invece un gas si dilata v'ha assorbimento di calorico, o, in altri termini, si produce freddo, come si può dimostrare introducendo un termometro in un recipiente in cui si faccia il vuoto. La rarefazione dell'aria o di un gas qualunque è la più grande sorgente frigorifica che si conosca. Abbiamo già visto che facendo uscire con una certa velocità da una macchina di compressione una corrente d'aria compressa, il freddo che si produce è tale da far congelare i vapori acquosi dell'atmosfera.

Cambiamento di stato dei corpi. Noi già sappiamo che ogni volta che un gas passa allo stato liquido, o che un liquido passa allo stato solido v'ha emissione di calore dovuta al calorico latente che si sprigiona.

Elettricità. Questo agente costituisce una considerevole sorgente di calore; ma di essa parleremo nel trattato dell'elettricità.

Azioni chimiche. Nel maggior numero delle azioni chimiche v'ha svolgimento di calore. Talvolta questa produzione di calore sembra dipendere dal semplice cambiamento di stato che ha luogo nel momento della formazione del nuovo composto. Così per esempio se mescolasi una soluzione concentrata di cloruro di calcio con un peso eguale di acido solforico si produrrà immediatamente un corpo solido, del solfato di calce; e questa produzione sarà accompagnata da un grande svolgimento di calore. S'intende che in questo caso la subitanea trasformazione dei due liquidi in un corpo solido, basta sola a spiegarci la produzione del calore. Ma in chimica presentano comunemente degli esempj di combinazioni accompagnate da calore, nelle quali per la teoria del calor latente dovrebbe invece prodursi freddo. Per esempio se si versa dell'acido nitrico concentrato su dell'essenza di trementina, si produce tosto un calore sufficiente ad infiammare il miscuglio, e non di meno, in questo caso il risultato dell'azione chimica essendo la conversione di due liquidi in fluidi elastici, dovrebbe prodursi freddo. Accade lo stesso nell'esplosione della polvere da cannone, in cui tutta la materia solida si converte subitamente in gas. Bisogna adunque ammettere che nella maggior parte dei casi di azione chimica esiste una causa di "emissione di calore", indipendente da ogni cambiamento di stato dei corpi, e che sembra risiedere nel solo fatto della combinazione. L'esame delle principali azioni chimiche che producono calore spetta alla chimica; non di meno non possiamo astenerci dal fare alcune parole sopra la più importante, che è al tempo stesso la più comune delle sorgenti artificiali di calore, voglio dire la combustione.

La combustione si fa in grazia dell'aria atmosferica. Questa è composta di due gas distinti, l'ossigeno e l'azoto. Il primo, che ne costituisce soltanto $\frac{1}{5}$ del suo volume, ha una tendenza più o meno grande a combinarsi con tutti i corpi che non ne sono già saturi, e che vengon detti combustibili, e questa combinazione porta il nome di combustione. Se questa combi-

nazione si opera lentamente, come accade per esempio nel caso del ferro, che si cuopre di ruggine allorquando è esposto all'aria, allora non v'ha alcuno svolgimento di luce nè di calore, ed il fenomeno prende più particolarmente il nome di ossidazione; se invece essa è viva ed istantanea, come accade quando s'inalza considerevolmente la temperatura iniziale del corpo combustibile, si produce un grande svolgimento di calorico accompagnato da luce, ed il fenomeno prende allora il nome di combustione propriamente detta. Tale è la combustione del legno o del carbone nei fornelli, dell'olio nelle lampade, e del gas idrogeno carbonato negli apparecchi destinati all'illuminazione. Qualche volta il fenomeno può aver luogo lentamente con produzione di luce senza calore; tale è il caso del fosforo, che produce colla sua combustione nell'aria una luce visibile nell'oscurità, senza sensibile svolgimento di calorico.

La combustione altro non essendo che la combinazione di un corpo combustibile coll'ossigeno dell'aria, ne risulta che un corpo qualunque che brucia aumenta necessariamente di peso: così se si riscalda per qualche tempo al rosso vivo un fil di ferro del peso di 100 grani, dopo la combustione peserà circa 130 grani. Non di meno la parola combustione porta seco volgarmente l'idea della perdita e disparizione della sostanza bruciata, perchè infatti tale è l'apparenza del fenomeno; ma ciò dipende dalla natura dei prodotti delle ordinarie combustioni, i quali essendo gassosi si diffondono nell'atmosfera e spariscono: ma se invece con gl'idonei apparecchi accuratamente si raccogliessero, sarebbe facile costatare che il loro peso aggiunto a quello delle ceneri, ossia delle materie incombustibili, sorpassa molto il peso del combustibile prima della combustione.

La quantità di calore svolta nella combustione può essere determinata per mezzo del calorimetro di Rumfort. Consiste questo apparecchio in una cassa rettangolare (*Tav. VIII, Fig. 239*), costituita da una sottil lastra di rame, sul fondo della quale circola un canale, pure di rame, le cui estremità si prolungano al di fuori della cassa, l'una in un imbuto rovesciato *PQ*, l'altra in un tubo *O*. Nella parte superiore della cassa trovasi una tubulatura chiusa da un turacciolo traversato da un ter-

momometro con lungo bulbo. Si empie la cassa d'acqua, e sotto l'imbuto *PQ* bruciasi un peso determinato di combustibile. Al termine della combustione si osserva la temperatura dell'acqua. Da questa, conoscendo il peso dell'acqua contenuta nel recipiente, si deduce facilmente di quanti gradi s'innalzerebbe la temperatura di un peso d'acqua eguale a quello del corpo bruciato. Convien procurare che i gas escano dal tubo *O* non avendo che la temperatura dell'aria ambiente. Per attenuare l'errore dovuto al raffreddamento del vaso durante l'operazione, non si brucia che la quantità di combustibile sufficiente ad innalzare la temperatura dell'acqua di pochi gradi. Convien ancora correggere i risultati, tenendo conto del calore comunicato al vaso, cioè a dire della sua capacità calorifica. Per mezzo del calorimetro di Rumfort sono stati determinati i numeri del quadro seguente.

Quadro della quantità di calore sviluppata dalla combustione di varie sostanze, determinata col calorimetro di Rumfort.

SOSTANZE	Innalzamento di temperatura, che il calore sviluppato dalla combustione comunicerebbe ad un peso di acqua eguale a quello del combustibile.
Idrogeno.	23100°
Olio d'Oliva	9014
Cera bianca	19579
Sevo.	8369
Etere Solforico.	8030
Carbone	7226
Nafta	7338
Alcool a 42° B.	6195
Alcool più acquoso.	5122
Detto a 33°	5261
Legno di Quercia.	3146

Azioni chimiche producenti freddo. Certe azioni chimiche invece di produrre svolgimento di calore danno luogo ad un assorbimento di calorico, o in altri termini a produzione di

freddo. Tale si è il caso dei *miscugli frigorifici*. I miscugli frigorifici ottengono o sciogliendo nell'acqua dei sali contenenti dell'acqua di cristallizzazione, ovvero mescolando al ghiaccio dei sali solubili nell'acqua. Nel primo caso la produzione del freddo è dovuta ad un assorbimento di calore prodotto dalla dissoluzione del sale, che nel disciogliersi passa dallo stato solido allo stato liquido. Si può considerare questo calore come una specie di calorico latente di fusione, ma che può essere differentissimo dal calorico latente di fusione propriamente detto, e può distinguersi col nome di *calorico latente di dissoluzione*. Nel secondo caso l'abbassamento di temperatura dipende al tempo stesso dal calorico latente di dissoluzione del sale o del corpo solubile nell'acqua, e dal calorico latente della fusione del ghiaccio.

Nei miscugli frigorifici l'abbassamento di temperatura ha sempre un limite che dipende: 1.^o dalla più o meno grande quantità di calore che si svolge nella combinazione chimica e che tende a diminuire il freddo prodotto; 2.^o dalla diminuzione, che coll'abbassarsi della temperatura subisce l'affinità dei corpi, per cui ad una certa temperatura si estingue la cagione che determina la fusione. Così per esempio un miscuglio di sale e di ghiaccio non può abbassarsi al di sotto di -22 , perchè a -22 una soluzione di sal marino abbandonerebbe il sale per lasciarlo cristallizzare.

Le proporzioni delle sostanze sono di una grande importanza per ottenere il massimo effetto, perchè il freddo prodotto dalle combinazioni è il risultato di due effetti contrarj, cioè del freddo proveniente dal cambiamento di stato e dal calore che si è svolto nella combinazione; e il predominio dell'uno sull'altro varia colle quantità relative delle sostanze impiegate. Così per esempio una parte di acido solforico mescolata con 4 parti di neve produce freddo, mentre a parti eguali queste due sostanze svolgono del calore.

Quadro di varj miscugli frigorifici.

1.° Miscugli di acqua e sali.

	Parti		Freddo prodotto
Acqua	46	} da + 10° a - 12° . . .	22°
Nitro.	5		
Sale ammoniaco.	5		
Acqua	46	} da + 10° a - 16° . . .	26°
Sale ammoniaco.	5		
Nitro.	5		
Solfato di soda	8	} da + 10° a - 16° . . .	26°
Acqua	1		
Nitrato di ammoniaca	4		
Acqua	4	} da + 10° a - 19° . . .	29°
Nitrato d'ammoniaca	4		
Sotto carbonio di soda	4		

2.° Miscugli d'acidi e sali.

Solfato di soda	3	} da + 10° a - 19° . . .	29°
Acido nitrico allungato	2		
Solfato di soda	6	} da + 10° a - 23° . . .	33°
Sale ammoniaco.	4		
Nitro.	2	} da + 10° a - 26° . . .	36°
Acido nitrico allungato.	4		
Solfato di soda	6	} da + 10° a - 29° . . .	39°
Nitrato d'ammoniaca	5		
Acido nitrico allungato.	4	} da + 10° a - 17° . . .	27°
Solfato di soda	8		
Acido muriatico.	5		

3.° Miscugli di ghiaccio e sali.

Neve o ghiaccio pesto.	2	}	20°
Sal marino	1		
Neve o ghiaccio pesto	5	}	24°
Sal marino	2		
Sale ammoniaco.	4	}	34°
Neve.	12		
Sal marino	5		
Nitrato d'ammoniaca	5		

Calore animale. Tutti gli animali a sangue caldo hanno una temperatura propria indipendente da quella dell'ambiente in cui vivono. Il calore in tutti i corpi bruti tende incessantemente verso l'equilibrio: gli scambi reciproci che stabiliscou si fra questi differenti corpi cagionano bentosto una temperatura uniforme. Al contrario gli animali a sangue caldo, egualmente sottoposti alle perdite cagionate dal contatto, dall'evaporazione e dall'irraggiamento, posseggono in loro stessi una causa di riproduzione di calore che conserva generalmente la loro temperatura fra 35 e 45 gradi sopra zero. La temperatura media dell'uomo nell'età virile è di 37,14; nei bambini di pochi giorni è di 35,06; negli uccelli è di circa 42°. Queste temperature si conservano costanti al variare di quella dell'ambiente. La temperatura del corpo umano si misura tenendo il bulbo di un termometro sotto le ascelle, ovvero sotto la lingua. John Davy ha misurato la temperatura degli uomini a diverse latitudini, e non ha trovato differenze maggiori di due a tre gradi fra gli abitatori del polo e quelli dell'equatore.

La causa del calore animale consiste nella respirazione. Lavoisier e Laplace furono i primi fisici che considerarono questa funzione come una vera combustione degli elementi del sangue, e quindi come la causa dello svolgimento del calore animale. Difatti nella respirazione l'ossigeno atmosferico è convertito in gas acido carbonico ed in acqua, che sono i prodotti della espirazione, e il carbonio e l'idrogeno di questi composti non possono esser forniti che dal sangue. Dulong e Despretz tolsero ogni dubbio intorno a questo importante soggetto, dimostrando che le quantità del carbonio e dell'idrogeno bruciate nella respirazione animale in un dato tempo erano approssimativamente quelle atte a somministrare colla loro combustione nell'aria, la quantità stessa di calore che nello stesso tempo producevano gli animali. L'apparecchio di cui si servirono questi fisici, consisteva in un calorimetro, destinato a dar la misura del calore sviluppato in un dato tempo dall'animale che si assoggettava all'esperienza, e consistente in una scatola di rame a pareti assai sottili e circondata dall'acqua. In questa scatola si racchiudeva l'animale, ed alla medesima era-

no uniti due gasometri uno dei quali forniva l'aria all'animale, l'altro riceveva i gas espirati. La piccola differenza in meno che si osservò in queste esperienze pel calore della supposta combustione sul calore animale, deve attribuirsi alle altre cause di produzione di calore che sussistono nell'economia animale, e di cui è qui superfluo discorrere.

2.^o *Sorgenti di calore permanenti.* 1.^o *Il sole.* La prima e principale sorgente del calor terrestre risiede in questo astro. I raggi solari traversano l'atmosfera senza molto riscaldarla, ma quando sono arrestati da dei corpi opachi comunicano loro una porzione del calorico che contengono. Così, nei nostri climi, quando la temperatura dell'aria è a 30°, non di rado si vede salire il termometro posto nella sabbia, o sopra lastre metalliche, fino a 60°. I corpi non cessano di riscaldarsi per l'irraggiamento solare se non quando perdono tanto calore, quanto ne ricevono; e la perdita cui vanno soggetti, dipende dal contatto coi corpi vicini e coll'aria, e dal loro irraggiamento verso il cielo; perciò l'eccesso di temperatura al quale giungono è tanto maggiore quanto meglio sono isolati mediante corpi cattivi conduttori, meglio difesi dalle correnti aeree, e disposti in guisa, che ricevendo l'azione diretta dei raggi solari, non possano irraggiare se non verso una molto limitata estensione di cielo. Tali sono i principj che spiegano la prodigiosa diversità di temperature che presentano i diversi corpi esposti al sole in un medesimo luogo.

Sono state eseguite molte esperienze per valutare il calor solare, esponendo simultaneamente due termometri, l'uno all'ombra, l'altro al sole; ma quanto abbiamo già detto basta a farci intendere la fallacia di queste esperienze. Il termometro che è all'ombra dà la temperatura dell'aria se è posto nelle convenienti condizioni; altrimenti dà una temperatura eccezionale e senza valore. In quanto al termometro esposto al sole, esso indica una temperatura che dipende dagli elementi complessi da noi sopra accennati ed inoltre dalla sua massa, dalla sua forma, dal suo potere assorbente, dalla durata dell'esperienza e da varie altre circostanze ancora. Se si rinebiude il bulbo del termometro esposto al sole entro una

scatola, in modo da prevenire l'effetto della corrente dell'aria, può alzarsi fin presso a 100° , mentre la temperatura dell'atmosfera, all'ombra, è solo di 25° . Quando si concentrano i raggi del sole al fuoco di una lente o di uno specchio concavo, il calore che si produce è intensissimo e capace di fondere la maggior parte dei metalli e delle terre; ma l'uso pratico di questi apparecchi è estremamente limitato perchè il calore, benchè intensissimo, si produce soltanto in un punto.

In generale la quantità di calore che il sole fornisce alla terra dipende dalla durata del suo irraggiamento, cioè a dire dal tempo che rimane al disopra dell'orizzonte, e dal grado di obliquità dei suoi raggi, i quali riscaldano tanto meno la terra quanto più obliquamente vi giungono. Ambedue queste cause producono l'estate; alla seconda è dovuto il decrescimento di temperatura che si osserva andando dall'equatore verso i poli. La durata della insolazione influisce tanto sul riscaldamento della terra, che anche pei punti molto lontani dall'equatore vi sono nell'anno alcuni giorni caldissimi, perchè il sole vi rimane lungo tempo sopra l'orizzonte.

2.^o *Calore delle stelle fisse.* Fourier e Poisson sono stati i primi che abbiano fatto considerare che anche le stelle fisse debbono avere a guisa del sole un calore loro proprio che irraggiano nello spazio. Fourier distingue col nome di *calore degli spazj planetarj* il calore dovuto all'irraggiamento di tutti i corpi celesti, tolti il sole, la terra e gli altri pianeti. La temperatura che indicherebbe un termometro, se il nostro sistema solare non esistesse, sarebbe quella dovuta a questo calore. Questa temperatura sarebbe la stessa per tutti i punti dello spazio occupati dal sistema solare, atteso che per tutti questi punti la distanza dalle stelle è sensibilmente la stessa. Secondo le considerazioni e i calcoli di Fourier, essa sarebbe quella dei limiti estremi dell'atmosfera, e di poco inferiore alla più bassa temperatura osservata sulla superficie della terra, cioè a dire di circa -60° , giacchè le più basse temperature osservate sulla superficie terrestre son quelle di -47 e di -57 notate nelle regioni polari dai capitani Parry e Black. Non ammettendo il calore degli spazj planetarj, al di là dei limiti dell'atmosfera vi sarebbe il *freddo assoluto*.

3. *Calor terrestre.* Quando si osserva la temperatura al di sotto della superficie della terra, nella direzione di una stessa verticale, si scorge che le variazioni di temperatura prodotte dal cambiamento di stagione divengono tanto meno sensibili quanto più ci allontaniamo dalla superficie; e che ad una certa profondità la temperatura rimane costante. Al di là di questo punto la temperatura è parimente costante per ogni altro punto, ma aumenta colla profondità, presso a poco di un grado per ogni 30 a 40 metri. Questi fatti sono stati verificati in ogni parte del globo, sia coll'osservare la temperatura delle miniere e dei pozzi i più profondi, come ancora quella delle acque zampillanti da grandi profondità. Questo fenomeno dell'accrescimento della temperatura, a misura che si penetra nelle viscere della terra non può spiegarsi se non supponendo che esista nel centro del globo terrestre una sorgente di calore, il quale propagandosi di strato in strato cagioni una temperatura che vada decrescendo dal centro della terra fino a quella porzione che si trova assai prossima alla sua superficie da essere influenzata dal calor solare. I fisici spiegano la causa del calor centrale, ammettendo che in origine la terra dovesse trovarsi in un completo stato di fusione, e che col succedersi dei secoli che sono scorsi essa si sia lentamente raffreddata, in guisa che attualmente conservi in parte soltanto il primitivo calore e ad una grandissima profondità al di sotto della sua superficie.

6.° *Dei fenomeni meteorologici dovuti al calore.*

Si è dato il nome di *meteorologia* a quel ramo della fisica nel quale si applicano i principj di questa scienza alla spiegazione dei fenomeni naturali che si producono, sia sulla terra sia nell'atmosfera. Perciò questi fenomeni vengon distinti col nome di *meteorologici*, e possono esser dovuti ad uno qualunque dei grandi agenti della natura.

1.° *Effetti generali prodotti dal calor solare, dal calor terrestre e dal calor delle stelle.* Il calor terrestre è quasi senza influenza sulla temperatura della superficie della terra, giacchè il raffreddamento della terra è eccessivamente lento, come

resulta necessariamente dalla osservata permanenza della temperatura degli strati situati ad una certa profondità. Certamente queste temperature anderanno diminuendo col tempo; ma il loro decrescimento succede con sì prodigiosa lentezza, che non potrà riconoscersi se non che confrontando delle osservazioni fatte ad epoche lontanissime. Secondo Fourier il raffreddamento della terra è di $\frac{1}{37400}$ di grado per ogni secolo. V'è un fatto astronomico che prova la grande lentezza di questo raffreddamento, ed è la costante durata del giorno siderale, ossia delle rivoluzioni della terra intorno al suo asse. Difatti sappiamo, che se un corpo solido che ruota intorno ad un asse diminuisce di diametro, la sua velocità di rotazione aumenta; perciò se la terra raffreddandosi diminuisse di volume, le sue rivoluzioni sarebbero necessariamente più rapide. Ora da tanti secoli non si è scoperta variazione alcuna nella durata del giorno siderale. Secondo Fourier il calor terrestre non aumenta neanche di $\frac{1}{100}$ di grado la temperatura della superficie della terra.

La temperatura della crosta esterna della terra dipende adunque quasi unicamente dall'azione solare e dal calore degli spazj planetarj; e che sia dovuta anche a quest'ultima cagione ce ne convinciamo riflettendo all'irraggiamento che si opera nella notte del calore che la terra ha nel giorno accumulato. Questo irraggiamento verso gli spazj planetarj abbassa considerevolmente la temperatura della superficie terrestre, ma non potrà mai questa discender tanto basso da divenire inferiore a quella degli spazj planetarj; ma se si supponesse che questi spazj fossero intieramente privi di calore, la terra, tolto il sole, irraggerebbe verso uno spazjo di freddo assoluto, e la velocità del suo raffreddamento diverrebbe illimitata, in guisa che tutto il calore ricevuto dal sole si disperderebbe nella notte in un tempo infinitamente piccolo.

Esaminiamo adesso come si opera il riscaldamento della terra nel giorno, e come avviene il suo raffreddamento nella notte, e come dalla differenza di queste due azioni dipenda la temperatura di un luogo. Se la terra non fosse circondata da un'atmosfera gassosa i raggi solari si trasmetterebbero a noi senza venire in alcun modo diminuiti d'intensità; non vi sarebbe cioè calore assorbito dal mezzo interposto. La super-

ficie della terra si riscalderebbe assai più, e ce ne possiamo convincere innalzandoci verso la sommità di un monte ove l'aria essendo meno densa, i raggi solari hanno un'azione calorifica molto più intensa che nelle regioni basse. Secondo Pouillet la perdita del calor solare per l'assorbimento dell'aria è di circa la metà. Quei raggi solari che non sono stati assorbiti dall'aria, sono assorbiti dalla superficie della terra, la quale per quest'assorbimento si riscalda assai più dell'aria che v'è a contatto, essendo essa costituita di corpi dotati più assai di essa di facoltà assorbente. La terra riscaldata irraggia calore e tende conseguentemente a perderne. Questo fenomeno si fa molto sensibile nella notte, perchè allora cessa il riscaldamento solare. Nel raffreddamento che subisce la terra nella notte pel calore che irraggia, interviene pure l'atmosfera, ma per diminuirlo. Difatti la terra riscaldata dal sole non è che una sorgente calorifica a bassa temperatura, quindi i suoi raggi traversano difficilmente il mezzo diatermano che la circonda.

Il potere emissivo del suolo è maggiore di quello dell'aria, quindi nella notte il suolo emette più calore dell'aria sovrapposta; inoltre questa è anche riscaldata dai raggi che assorbe dal suolo, onde avviene che nella notte la temperatura del suolo è sempre più bassa di quella dell'aria sovrapposta. In quelle circostanze in cui l'irraggiamento del suolo è grandemente favorito, accade che la sua temperatura si abbassa assai al di sotto di quella dell'aria sovrapposta; ma lo strato d'aria che tocca immediatamente il suolo ne prende la temperatura, ond'è che in questi casi la temperatura degli strati dell'aria si va inalzando verso l'alto; ma questo aumento, prodotto dal contatto della terra raffreddata, cessa ad un'altezza di pochi piedi, e seguitando a salire nell'atmosfera la temperatura si abbassa continuamente, per le ragioni che in breve esporremo. Si deve adunque all'atmosfera il non passare da un forte calore del giorno ad un freddo intensissimo nella notte. Si è creduto fino a questi ultimi tempi che il calore si diffondesse nell'atmosfera portato dalle correnti ascendenti dell'aria riscaldata sulla superficie della terra, e che nella notte esistessero invece delle correnti discendenti d'aria fredda; ma è oggi provato che questi movimenti non sussistono

e non hanno parte nel riscaldamento e nel raffreddamento del suolo e dell'aria che v'è a contatto. Abbenchè l'aria situata presso il suolo sia sempre più calda e più dilatata di quella situata in alto, non ne viene in conseguenza che debba salire, giacchè sostiene sempre una pressione maggiore, e basta, come realmente accade, che la compressione superi l'effetto della dilatazione prodotta dal calore, perchè conservi il suo posto. Dei movimenti verticali dell'aria si producono talvolta nell'estate, ma ciò quando per delle circostanze locali la temperatura di certi punti del suolo, e quindi dell'aria a contatto, s'innalza considerevolmente.

Il calor solare assorbito dalla superficie del suolo si diffonde anche negli strati sottoposti; e difatto si vede innalzare nel giorno la temperatura di un termometro coperto di un grosso strato di terra, ed abbassare nella notte. Nell'estate la temperatura del suolo va diminuendo verso lo strato invariabile; nell'inverno invece va aumentando; e la profondità dello strato invariabile dipende, in ogni caso, dalla conducibilità del suolo.

L'azione solare non ha luogo sulle grandi masse d'acqua come sulla superficie della terra. Il riscaldamento è diminuito dalla poca conducibilità dell'acqua, dalla sua grande capacità calorifica, dall'evaporazione, e dai movimenti che in essa produconsi per la temperatura diversa dei varj strati. Il raffreddamento è pure diminuito principalmente per la caduta degli strati raffreddati. Perciò nella temperatura dell'aria sovrapposta alle grandi masse d'acqua, non si scorgono quelle grandi variazioni periodiche del giorno e dell'anno che si osservano verso il centro dei continenti. Ciò accade anche nelle piccolè isole e sulle coste dei continenti, ove la temperatura è influenzata dal contatto del mare.

Poichè l'acqua marina non possiede un massimo di densità al di sopra del punto di sua congelazione, la temperatura del mare deve andare diminuendo a misura che ci approfondiamo nei suoi strati. Ciò accade infatti nei mari situati nei tropici; ma è singolare l'osservazione che la più bassa temperatura trovata nelle più grandi profondità è di 2°, 2. È anche più singolare il fatto che verso il polo la tempera-

tura degli strati più profondi del mare è pure di $2^{\circ}, 2$, per cui quivi la temperatura del mare va crescendo verso il fondo. Prima delle esperienze di Hermann si credeva che l'acqua del mare avesse un massimo di densità a circa 2° , ed allora si spiegava il fatto dello equilibrio di temperatura degli strati più profondi del mare ai poli ed all'equatore; ma oggi che è costatato che l'acqua del mare non ha massimo di densità al di sopra del punto di congelazione è difficile spiegare questo fenomeno. Si può ammettere, per ispiegarlo, l'esistenza ad una grandissima profondità di una corrente diretta dall'equatore verso i poli. Recenti osservazioni mostrano difatto l'esistenza di correnti aventi l'indicata direzione. Nei mari del Chili e del Perù, Humboldt ha trovato una corrente diretta dal Sud al Nord che porta fino al parallelo del Capo Bianco le acque fredde delle regioni Australi: si è pure osservata una vasta corrente d'acqua calda, che dopo essersi sollevata ed aver ripiegato nel golfo del Messico e quindi sboccata dallo stretto di Bahama, si muove dal Sud al Nord ad una certa distanza dalle coste degli Stati-Uniti; ad un certo punto questa corrente biforcasi, uno dei suoi rami segue le Orcadi e la Norvegia, l'altro torna verso l'Equatore, passando a qualche distanza dalle coste del Portogallo.

Il freddo eccessivo che si produce in vicinanza del polo boreale durante il soggiorno del sole al di sotto dell'equatore, a motivo dell'irraggiamento verso gli spazi planetarj, favorito dagli alti-fondi e dai numerosi continenti, produce la congelazione delle acque a delle grandi profondità; ma al ritorno della bella stagione avviene la rottura dei ghiacci, e delle immense isole di ghiaccio di 20 a 25 piedi di grossezza e di più di 100 leghe quadrate di estensione galleggiano sulle acque, trascinate dalle correnti; queste masse enormi spesso si spezzano incontrandosi, e i frammenti accumulati formano allora delle montagne di ghiaccio che s'innalzano spesso 500 piedi al disopra della superficie del mare. Queste grandi masse di ghiaccio che divengono galleggianti al ritorno del sole si sono formate per la maggior parte sulle coste; ma secondo il capitano Scoresby formansi anche delle masse di ghiaccio in alto mare, a più di 20 leghe dalle coste. È sol-

tanto dopo il disgelo che i mari polari divengono accessibili ai bastimenti destinati alla pesca della balena. La temperatura del polo australe è molto più dolce, a motivo della profondità dei mari e dell'assenza di grandi terre; sembra anzi che al di là della latitudine delle Nuove Orcadi e delle Nuove Shetland, che formano una barriera di ghiaccio, si trovi un mare libero, che si estenda fino al polo.

Nei laghi profondi d'acqua dolce, al di sotto dello strato fino a cui penetra il calore dell'estate, la temperatura è costante, ed eguale a 4° ; e ciò a motivo del massimo di densità dell'acqua dolce a questa temperatura. Allora la temperatura della superficie non può discendere al di sotto di 4° se non quando tutta la massa ha presa questa temperatura. Perciò la congelazione non accadrà che con un freddo tanto più intenso e tanto più prolungato quanto più profondo sarà lo strato liquido; perciò l'esistenza nell'acqua dolce di un massimo di densità superiore a 0° favorisce molto la congelazione; giacchè se il massimo di densità fosse a 0° , tutta la massa dovrebbe prendere la temperatura di 0° , prima di cominciare a gelare. È facile osservare che dopo il disgelo la temperatura della intera massa deve alzarsi a 4° prima che gli strati superiori si riscaldino maggiormente.

Nei fiumi, le acque non avendo generalmente una grande profondità, il loro movimento tende a stabilire l'eguaglianza di temperatura in tutta la massa. Quindi è che la congelazione non può accadere in mezzo alla corrente dei fiumi, se non quando tutta la massa si è raffreddata fino a 0 ; ma lungo le rive la congelazione è più pronta perchè ivi l'acqua è meno profonda ed è in contatto del suolo, che si raffredda molto più rapidamente dell'acqua.

Temperatura media di un luogo. La temperatura media di un luogo deducesi da una serie di temperature medie annuali osservatevi. Queste deduconsi dalle temperature medie dei diversi mesi dell'anno, le quali stabilisconsi colla determinazione della temperatura media dei varj giorni del mese.

La temperatura media del giorno, è la media di un gran numero di osservazioni della temperatura dell'aria di un determinato luogo, fatte a piccoli intervalli nel corso del giorno.

La determinazione della temperatura dell'aria di un dato luogo è un'osservazione che esige delle precauzioni importanti. Essa non dovrà mai praticarsi in un luogo rinchiuso, come per esempio entro una stanza, ma bensì all'aria aperta. Convien inoltre sottrarre il termometro all'influenza dei raggi diretti del sole e di quelli ancora che possono esser riflessi da qualche muro e dal terreno; si colloca perciò all'ombra di un edificio, e sempre esposto al nord; e per difenderlo dal calor riflesso dal suolo si sospende fra due estesi dischi che ne intercettano i raggi. Questi dischi sono riuniti per mezzo di aste verticali di legno, e l'insieme costituisce una specie di gabbia cilindrica che gira intorno ad un asse centrale (*Tab. VIII, Fig. 240*). Il termometro è fisso esternamente ad una delle accennate aste verticali. Quest'apparecchio è quello adoprato nella maggior parte degli osservatorj metereologici. Si tiene costantemente esposto al Nord, perchè in questa guisa non riceve direttamente i raggi del sole che per poche ore la mattina e la sera, dall'equinozio di primavera fino all'equinozio di autunno; ma allora si gira onde porre il termometro all'ombra.

La temperatura media del giorno potrebbe ottenersi con sufficiente esattezza, facendo soltanto 24 osservazioni, una ogni ora, e dividendo per 24 la somma delle temperature osservate. L'esperienza ha però dimostrato che si poteva ottenere questa media temperatura in due modi differenti: 1.º prendendo la media di tre osservazioni fatte, la prima al levare del sole, la seconda due ore dopo mezzo giorno, la terza al tramonto del sole; 2.º prendendo la media delle due temperature massima e minima del giorno, indicate da un termometrografo.

La temperatura media di un mese è la somma delle temperature medie di tutti i giorni del mese, divisa pel numero di questi giorni.

La temperatura media dell'anno è la somma delle temperature medie dei 12 mesi, divisa per 12. Ma è importante osservare che si giunge allo stesso risultato o presso a poco allo stesso con altri due metodi: 1.º prendendo soltanto la media del solo mese di ottobre; 2.º prendendo la mediate mpe-

ratura corrispondente ad una sola ora del giorno, che è nei nostri paesi, presso a poco l'ora delle 9 antimeridiane.

Infine non cercasi la temperatura media dell'anno che per giungere alla *temperatura media del luogo* in cui si son fatte le osservazioni. Questa è la media di molte medie annue. Se un clima potesse essere in un modo indefinito progressivamente caldo o progressivamente freddo, non converrebbe cercare la sua temperatura media, la quale non esisterebbe, ma converrebbe invece cercare la legge della progressione crescente o decrescente di questa temperatura; ma tutte le osservazioni tendono a dimostrare che tutti i climi della terra sono stabili, e che i loro cambiamenti non sono che delle oscillazioni più o meno estese. Adunque esiste una temperatura media propria ad ogni luogo della terra.

La temperatura media annua di un luogo dipende principalmente dalla latitudine e dall'altezza sul livello del mare; ma l'azione di queste due cause è modificata da un'infinità di azioni accidentali e locali, come per esempio dalla vicinanza dei grandi mari e delle grandi catene di montagne, dalla natura del suolo, dalla direzione dei venti regnanti, e perfino dalla coltivazione, giacchè è oggi indubitato che essa varia con quest'ultimo elemento e specialmente col diboscamento. Così confrontando le osservazioni termometriche fatte a Firenze per ordine dell'Accademia del Cimento, verso la fine del XVI secolo, e quelle fatte fra il 1820 e il 1830, si osserva che gl'inverni si sono fatti un po' meno freddi e le estati un po' meno calde; e quest'effetto deve certamente attribuirsi ai diboscamenti che si son fatti in Toscana dopo quella prima epoca.

Delle temperature medie alle differenti latitudini. Humboldt è stato il primo fisico che abbia raccolto i risultati di molte osservazioni in proposito per dedurne delle leggi generali. Riunendo insieme tutti quei punti della sfera terrestre in cui la temperatura media è la stessa, Humboldt ha tracciato delle linee che ha chiamato *linee isoterme*. Queste linee non sono risultate nè parallele all'equatore, nè parallele fra loro. Ad eguaglianza di latitudine la temperatura media è più alta in Europa ed in Affrica che in America ed in Asia. L'*Equatore*

Termale, ossia la linea che passa dai punti più caldi di tutti i meridiani, non coincide coll'equatore geografico, s'innalza di alcuni gradi al Nord nell'interno dell'Africa, taglia l'equatore terrestre in due punti situati l'uno sulla costa del Perù, l'altro nell'isola di Sumatra, e discende verso il Sud in mezzo al Grande Oceano. I *poli freddi* della terra nemmeno coincidono coi poli terrestri. Resulta da molte osservazioni fatte dai visitatori delle regioni polari che il punto più freddo dell'emisfero boreale della terra è situato al Nord dello stretto di Behring, a 80° di latitudine ed a 107° di longitudine ovest da Parigi. La temperatura media del polo geografico settentrionale sembra essere di -16° , e quella del polo freddo nord di -23° . Lo spazio compreso fra due linee isoterme vien detto *Zona Isoterma*. Così per esempio la zona isoterma compresa fra le linee di 10° e di 5° è detta zona di 10° a 5° . L'emisfero boreale della terra è stato diviso in sei zone isoterme, cioè:

1.^o La zona di 30° a $23,5^\circ$ che è la zona torrida o equatoriale.

2.^o La zona di $23,5^\circ$ a 20° , nella quale trovasi compreso Algeri.

3.^o La zona di 20° a 15° , nella quale sono comprese le coste della Francia sul Mediterraneo, all'Est le coste del Giappone, ed all'Ovest il Golfo del Messico.

4.^o La zona di 15° a 10° , la quale comprende quasi tutta la Francia, all'Est Pechino, ed all'Ovest Nuova-York e Filadelfia.

5.^o La zona di 10° a 5° , la quale comprende Berlino, Copenhagen, Stoccolma, Quibeca e Kendal.

6.^o La zona da 5° a 0° , che comprende la Siberia ed i paesi più settentrionali d'America. Dopo questa zona vengono le regioni polari.

Dei Climi per ciò che dipende dalla temperatura. Il clima di un luogo non è soltanto caratterizzato dalla sua temperatura media. Difatti possono esservi due punti della terra aventi la stessa temperatura media ed un clima diversissimo, cioè a dire che nei medesimi giorni e mesi dell'anno le temperature sieno diversissime. La temperatura media di Nuova-York è di 12° , 1, e quindi poco diversa da quella di Parigi; ma alla Nuova-York il mese più caldo ha 27° , 1 di temperatura media, ed il

mese più freddo — 3°; mentre a Parigi la temperatura media del mese più caldo è 18°,5, e quella del mese più freddo di + 2°,3. Perciò i climi sono caratterizzati, oltre che dalla temperatura media dell'anno, anche dalle variazioni di temperatura dei giorni, dei mesi e delle stagioni.

Sotto il rapporto della temperatura media dell'anno il clima può dirsi *ardente* nella zona torrida, *caldo* nella zona di 23°,5 a 20°; *dolce* nella zona di 20° a 15°, *temperato* nella zona di 15° a 10°, *freddo* nella zona di 10° a 5°, *freddissimo* nella zona di 5° a 0°, *glaciale* nella zona in cui la temperatura media è al di sotto di 0°.

Sotto il rapporto poi delle variazioni di temperatura a seconda dei giorni, dei mesi e delle stagioni, i climi appartenenti ad una zona isotermica possono distinguersi in *costanti*, *variabili* ed *eccessivi*; chiamando costanti quelli che non offrono delle grandi differenze nel corso dell'anno fra gli estremi di caldo e di freddo; variabili quelli che offrono delle differenze notevoli; ed eccessivi quelli che ne offrono delle grandissime. Il quadro seguente offre un esempio di questa distinzione.

Nomi dei luoghi	Temperatura media dell'anno	Temperatura media del mese più caldo	Temperatura media del mese più freddo.	Differenza
Funchal....	20°,3	24°,2	17°,2	7°,0
Parigi.....	10°,6	18°,5	2°,3	16°,2
Londra....	10°,2	18°,0	3°,2	14°,8
Nuova-York	12°,1	27°,4	— 3°,7	30°,8

Funchal ha un clima costante; Londra e Parigi hanno dei climi variabili, e Nuova-York un clima eccessivo.

Temperatura a diverse altezze al di sopra del suolo. Ognun sa che la temperatura dell'aria diminuisce gradatamente a misura che ci solleviamo nell'atmosfera. In tutte le ascensioni aereostatiche è stato costatatato questo fatto, e in quella di Gay-Lussac, che è stata una delle maggiori, essendo esso asceso fino all'altezza di 6979 metri, il termometro discese

fino a $-9^{\circ},5$. È facile spiegare questa diminuzione di temperatura. Infatti la quantità dei raggi solari assorbiti dall'atmosfera, diminuisce al diminuire della sua densità, ed inoltre l'aumento di capacità calorifica che subisce l'aria col diminuire della pressione, contribuisce anch'esso considerevolmente ad impedire l'accrescimento della temperatura.

De-Saussure dalle sue osservazioni fatte sia sulla cima del Monte Bianco sia a delle grandi altezze al di sopra del lago di Ginevra, credè di potere stabilire che la temperatura dell'aria diminuiva di un grado per ogni $1\frac{1}{4}$ metri di altezza; ma Ramond e De-Humboldt, dopo un grandissimo numero di osservazioni stabilirono che detta diminuzione non si faceva in un modo uniforme, e che variava non solo colle diverse altezze, ma anche colle varie località. È costatato dalle esperienze di Humboldt, che inalzandosi al di sopra di 3000 metri la temperatura diminuisce molto più rapidamente di quello che inalzandosi al di sopra dei 1000, e invece molto più lentamente inalzandosi al di sopra dei 5000; inoltre tale diminuzione è più rapida nei paesi caldi che nei freddi.

Nevi perpetue. La presenza delle nevi nell'alto dei monti è necessariamente dovuta al freddo degli alti strati dell'atmosfera. Non di meno è stato osservato, che a circostanze eguali l'aria è più fredda presso i monti che ad una stessa altezza sopra una pianura; ed è perciò che la condensazione delle nubi si fa a preferenza verso l'alta cima dei monti. Si ammette generalmente che due cause diverse concorrano al maggior raffreddamento dell'aria presso i monti: primieramente l'irraggiamento notturno dei monti stessi, il cui effetto deve superare quello del maggior riscaldamento che provano in grazia della maggiore intensità dei raggi del sole ad una grande altezza; secondariamente la più rapida evaporazione dell'umidità di cui sono imbevuti, a motivo della diminuita pressione.

In tutti i climi le nevi sono permanenti a delle altezze più o meno grandi dal suolo. In generale il limite in cui cominciano le nevi perpetue s'innalza a misura che ci avviciniamo all'equatore. Nelle Indie il limite delle nevi perpetue è a circa 4800 metri sopra il livello del mare, nei Pirenei è a 2793 metri, nelle Alpi è a 2373. Ma le circostanze locali esercitano una grandissima influenza sull'altezza del limite

delle nevi perpetue. In ogni luogo essa dipende non solo dalla temperatura media annua, ma dalla temperatura del mese più caldo; perciò detto limite va soggetto a delle oscillazioni, cioè a dire si alza o si abbassa con questa temperatura. La quantità di neve accumulatasi durante l'inverno, la vicinanza dei mari, lo stato più o meno nuvoloso del cielo, e la massa delle montagne vi esercitano pure una grande influenza.

Delle variazioni della pressione atmosferica. Già indicammo trattando del barometro che questo strumento prova in uno stesso luogo sulla superficie della terra delle variazioni continue, alcune delle quali sono diurne o periodiche, altre accidentali. L'osservazione ha dimostrato che le epoche delle altezze massime e minime del barometro durante il giorno variano colle stagioni. In generale la massima elevazione accade nell'inverno alle nove del mattino ed alle nove della sera, e la minima alle 3 pomeridiane. In estate la massima elevazione accade alle 8 della mattina, ed alle 11 della sera, e la minima alle 4 pomeridiane. Nella primavera e nell'autunno le epoche delle altezze massima e minima sono comprese fra quelle della estate e dell'inverno. Nei climi temperati, queste giornaliere variazioni sono quasi costantemente modificate dalle variazioni accidentali; ma presso l'equatore esse avvengono con tale regolarità che l'ispezione del barometro può servire quasi a indicare le ore del giorno. Inoltre all'equatore le ore delle massime e minime altezze non variano colle stagioni, ma sono sempre costanti. La causa di questi movimenti diurni del barometro sembra legata colle variazioni diurne della temperatura, le quali cagionano delle correnti d'aria periodiche, ora ascendenti ed ora discendenti, e quindi ora una diminuzione, ed ora un aumento di pressione.

Le variazioni accidentali del barometro sembrano dipendere dai venti e dallo stato piovoso o tempestoso del cielo. A misura che ci avviciniamo all'equatore, il barometro si fa sempre meno sensibile a queste variazioni. In generale il barometro sale quando il cielo si fa sereno, discende quando il tempo si guasta, e specialmente quando si avvicina la tempesta; sale ancora pei venti freddi e discende pei venti caldi. Allorquando ad una subitanea variazione barometrica tien dietro un cambiamento di tempo, è da prevedersi che questo

cambiamento sarà di corta durata. Se invece il barometro si abbassa o ascende gradatamente per varj giorni di seguito, senza che il tempo cangi; il cambiamento di tempo, sia in cattivo che in buono, a cui prelude, sarà di lunga durata. Quando poi le variazioni barometriche sono frequenti, indicano un tempo poco sicuro e variabile. Qual sia la causa dell'influenza che i venti esercitano sulle variazioni barometriche non è ben noto; sembra però che le variazioni che accadono in Europa nel barometro pel buono e pel cattivo tempo, dipendano dai venti che portano in questa regione il buono e il cattivo tempo, imperocchè i venti caldi, che fanno abbassare il barometro, sono presso di noi forieri di pioggia, mentre i freddi, che lo fanno inalzare, sono forieri di serenità di cielo. I rapidi abbassamenti del barometro che annunziano la tempesta pare che dipendano da rarefazioni d'aria, le quali sono cagioni di raffreddamento, e quindi di formazioni di nubi e di pioggia. Difatti, è certo, che durante una tempesta vi sono degli sbilanci considerevoli nella densità dell'aria.

È dunque l'agitazione dell'atmosfera la causa dei movimenti della colonna barometrica, e l'esperienza giornaliera lo dimostra; ma come avviene che quest'agitazione anche quando si produce alla superficie del globo, che i venti, e le rapide rarefazioni e condensazioni dell'aria che vi si producono si di frequente cangino il peso dell'intera colonna atmosferica, e sieno così la causa delle variazioni barometriche? Immaginiamo una colonna d'aria che s'innalzi al di sopra di un punto qualunque della terra, per esempio al di sopra di Firenze, fino ai limiti dell'atmosfera, cioè a dire fino all'altezza di circa 100 chilometri. Ognuno degli strati orizzontali di questa immensa colonna concorre dal canto suo alla pressione che si esercita sul suolo, e conseguentemente sul mercurio del barometro; presso a poco come in un vaso pieno di acqua ciascuno degli strati orizzontali concorre alla pressione che sopporta il fondo. Agitando l'acqua del vaso, facendovi nascere delle rapide correnti in ogni senso, il fondo se ne risente, e le pressioni non rimangono più eguali in tutti i suoi punti; esse aumentano o diminuiscono secondo la direzione, l'estensione e la velocità dei movimenti. Lo stesso, ed in maggior grado deve accadere nella nostra colonna atmosferica. la

quale prova nei diversi chilometri della sua altezza delle incessanti agitazioni. Queste agitazioni, accadano alla superficie del suolo ovvero più in alto, debbono comunicarsi alla intiera colonna, ed in grazia di esse i varj punti del suolo non devono essere più egualmente premuti. L'intiera atmosfera può paragonarsi ad un grande oceano, continuamente agitato, e le cui ondo sieno immense; è chiaro adunque che il nostro barometro situato al fondo di quest'oceano debba risentire gli effetti delle sue continue ondulazioni.

Dei venti. La causa generale dei venti risiede nell'ineguale distribuzione del calore nell'aria. Tosto che una sezione dell'atmosfera è più riscaldata di un'altra, si dilata, vi si forma un vuoto parziale, e l'aria circondante portandosi innanzi per riempire questo vuoto, acquista un movimento progressivo, che costituisce il vento. La direzione dei venti è modificata dagli ostacoli che incontrano; essi non riflettonsi, ma seguono la direzione delle superfici che vengono a percuotere. Per indicare in qual direzione spira il vento basterebbero i quattro punti cardinali; ma si suddivide l'orizzonte, nel centro del quale si suppone sempre l'osservatore, in altri quattro punti intermedj, ed anche in altre suddivisioni equidistanti fra loro, per avere con maggior precisione l'andamento dei venti. Le varie linee che dal centro dell'orizzonte s'immaginano condotte ai varj punti della sua periferia, e che si rappresentano nelle bussole marine e negli anemoscopj per indicare la direzione delle correnti aeree, chiamansi rombi, e formano la così detta *rosa dei venti*. Fino dai più antichi tempi se ne distinsero quattro, corrispondenti ai quattro punti cardinali, cioè *tramontano* (nord), *levante* (est); *ostro* o *mezzodi* (sud), *ponente* (ovest). Gl'intermedj a questi furono distinti dall'ateniese Andromico Cirreste e sono: *greco* (nord-est), *scirocco* (sud-est); *libeccio* (sud-ovest), *maestro* (nord-ovest).

Le *ventarole* o *anemoscopi* indicano la direzione generale del vento alla superficie della terra, e si collocano sulla cima delle torri, dei campanili ec., affinchè non abbiano azione sopra di esse i piccoli cambiamenti di direzione che il vento può provare per le accidentalità del suolo. Le nubi ci mostrano la direzione delle correnti superiori, le quali spesso sono di-

verse da quelle che ha il vento che soffia sulla superficie terrestre. L'intensità dei venti varia entro limiti estesissimi, dall'agitazione leggerissima di una brezza, fino al movimento impetuoso dello uragano. È difficile misurare esattamente la velocità del vento; non di meno negli osservatorj meteorologici si misura approssimativamente dalla pressione esercitata contro una molla, mediante certi istrumenti conosciuti col nome di *anemometri*. Secondo il meteorologo Kaemtz il migliore anemometro è quello di Woltmann. Consiste in una banderuola ordinaria munita dal lato volto verso il vento, di un asse orizzontale che porta due piccole ali da mulino. La corrente aerea dà prima alla banderuola una conveniente direzione, dipoi pone le ali in movimento. Queste girano con tanta maggior rapidità quanto più forte è il vento. Per contare i giri, l'asse porta una vite perpetua che ingrana in una ruota dentata, e mediante un sistema di ruote simili pone in movimento un ago sopra un quadrante, che indica il numero dei giri dell'asse in un dato tempo. Per dedurne la velocità del vento, basta scegliere un giorno calmo, e percorrere coll'istrumento, in una vettura o sopra una strada ferrata, una distanza nota in un dato tempo. È evidente che l'effetto sarà lo stesso, come se l'istrumento essendo in riposo l'aria fosse in movimento. Allora si costruisce una tavola che c'insegna, qual'è la velocità del vento che fa girare le ali 40, 50, o 60 volte in un minuto. Si potrebbe anche regolare l'istrumento, situandolo sopra una pianura scoperta, ed osservando a che distanza il vento trasporta in un minuto dei corpi leggieri, come dei piccoli pezzi di carta, delle piume, e delle foglie. La velocità delle correnti aeree superiori può misurarsi dalla rapidità colla quale l'ombra di una nuvola si muove sulla superficie della terra.

I venti si distinguono in *periodici* ed in *accidentali*. Fra i primi si distinguono le *brezze*, i *venti mussoni* e i *venti alisei*. Le brezze sono venti che soffiano sulle coste marine, nel giorno dal mare verso la terra, e nella notte nella direzione contraria. La brezza del giorno o del mattino, ossia il *vento di mare* comincia alcune ore dopo il levar del sole, e cessa verso le 4 o le 5 della sera. La brezza della notte o della sera, ossia il *vento di terra*, comincia al tramonto del

sole, e dura fino al ritorno dell'aurora. Le brezze spirano durante tutto l'anno nella zona torrida, ed in estate solamente nella zona temperata, e non si fanno sentire che ad una piccola distanza dalle coste, sulla terra e sul mare. I venti mussoni regnano nella zona torrida, e principalmente sui mari che formano vasti golfi. Questi venti soffiano per un certo tempo in una direzione, e in direzione contraria durante il resto dell'anno. La loro direzione non è mai nè parallela nè perpendicolare all'equatore, tendo sempre verso l'emisfero che è più riscaldato dal sole, e cambia quando il sole passa dalla verticale del luogo che si considera. I venti alisei infine soffiano costantemente dall'est all'ovest nella zona torrida.

Causa dei venti periodici. Abbiamo detto che la causa generale dei venti, si riduce alla differenza di temperatura di un luogo da un altro che gli resta vicino. Difatti supponiamo che due colonne d'aria contigue abbiano la stessa temperatura in tutta la loro altezza; esse staranno in equilibrio; ma questo resterà rotto appena la terra sulla quale riposano sarà disegualmente riscaldata. Infatti la colonna d'aria che resterà a contatto colla parte più riscaldata si dilaterà; il suo limite superiore s'inalzerà, e la massa d'aria che si sarà sollevata sopra il livello delle colonne aeree circostanti si precipiterà su di queste, e produrrà in alto un vento che soffierà dal paese più caldo verso il più freddo. Intanto anche al livello del suolo riman rotto l'equilibrio, poichè le colonne circostanti a quella dilatata dal calore vengono caricate d'aria che sopra di esse si versò in alto, mentre il peso della colonna riscaldata vien diminuito; perciò l'aria in basso si spinge dalle parti più fredde verso le più calde. L'opposto avviene se una parte del suolo su cui si appoggiano le colonne aeree si raffredda. Quindi è evidente che se due regioni vicine sono disegualmente riscaldate, negli strati superiori dell'aria si produrrà un vento che dalla regione calda andrà verso la fredda, ed alla superficie del suolo si formerà una corrente contraria. Una semplicissima esperienza del Franklin rappresenta benissimo questo fatto. Se si apre in inverno una porta che metta in comunicazione una stanza calda con una fredda si producono due correnti di aria, l'una superiore che va dalla

stanza calda alla fredda, l'altra inferiore in senso contrario; e di ciò ne avverte l'inclinazione della fiaccola di due candele poste l'una in alto, l'altra in basso della porta.

Dopo quanto abbiamo esposto è facile intendere la causa dei venti periodici. Ecco difatti come possiamo spiegarci la produzione delle brezze. Nelle prime ore del mattino la temperatura del continente e del mare è quasi la stessa, e però v'ha equilibrio nell'atmosfera; ma coll'alzarsi del sole, il terreno si scalda più dell'acqua, quindi nasce una corrente in alto dalla terra verso il mare, ed in basso dal mare verso la terra. Al momento della massima temperatura del giorno questa brezza acquista la massima forza; ma sulla sera l'aria del continente si raffredda, e al tramontar del sole acquista la medesima temperatura del mare; quindi torna la calma. Nella notte invece la terra si raffredda più dell'acqua, ed allora regna il vento di terra.

Halley e Hadley ci hanno in un modo simile dato la seguente spiegazione dei venti alisei. Le regioni equatoriali sono le più calde della terra, mentre che andando verso i poli la temperatura va gradatamente scemando: si forma adunque una corrente superiore dall'equatore verso i poli ed una inferiore dai poli all'equatore; quindi dovremo avere un vento costante di tramontana nell'emisfero boreale, un vento di mezzodi nell'emisfero australe. Ma queste due direzioni, combinandosi col moto d'occidente a oriente impresso all'aria dalla rotazione della terra, daranno luogo ad una corrente risultante, la quale si ravvicinerà tanto più alla direzione occidentale quanto più ci avvicineremo all'equatore. Ma la velocità di questa corrente nella direzione di occidente a oriente non acquista mai la velocità di cui sono animati i varj punti corrispondenti della superficie della terra, ond'è che gli oggetti terrestri che si trovano situati sul passaggio di questa corrente, vengono a colpirla coll'eccesso della loro velocità, per cui ad un osservatore situato presso l'equatore, il quale si crede immobile, deve sembrare che l'aria si muova da oriente a occidente, poichè il movimento della terra si fa nel verso contrario. Adunque egli è solo in apparenza, che i venti alisei, che regnano nella zona torrida, soffiano da oriente; ma è un'apparenza che produce una completa illusione.

La maggiore estensione che sotto l'equatore ha il continente in certe parti della terra, e la differenza di temperatura che sempre esiste fra questa e il mare, turbano in certi luoghi la regolarità dei venti alisei, e generano i venti mussoni, i quali per sei mesi spirano in una direzione e per sei mesi nella direzione contraria. Nella stagione calda, i continenti si scaldano molto più del mare, e danno origine a delle correnti dirette in basso dal luogo più freddo al luogo più caldo. Nell'inverno invece il continente, irraggiando più del mare, si raffredda di più, e dà origine a delle correnti dirette in basso, in senso contrario delle precedenti.

I venti accidentali soffiano irregolarmente, ora in una direzione ed ora in un'altra; talvolta sono appena sensibili, tale altra hanno una celerità di 30 leghe l'ora. Questi ultimi sono gli *uragani*, i quali sono capaci di sradicare gli alberi e di rovesciare gli edifizj. Gli uragani sono frequenti nella zona torrida, e in tutti i climi a temperatura elevata; nei nostri climi a temperatura moderata sono più rari e meno violenti. È probabile che i venti accidentali provengano in generale dalla diminuzione di pressione che accompagna necessariamente la condensazione del vapore atmosferico, giacchè la formazione delle nubi deve produrre un vuoto parziale verso il quale l'aria circostante si precipita.

Condensazione dei vapori nell'atmosfera. — Delle nebbie e delle nubi. La subitanea condensazione, per una causa qualunque di raffreddamento, di una porzione del vapore acquoso contenuto nell'atmosfera, lo rende visibile; quel vapore si presenta allora sotto la forma di nebbia o di nube. Il vapore acqueo dell'atmosfera nel momento in cui si precipita, si cambia, secondo il De-Saussure, in una moltitudine di piccole vescichette o sfere cave, le quali avrebbero uno stato intermedio fra l'acqua liquida e l'acqua allo stato gassoso. Le nebbie e le nubi sarebbero quindi formate dall'aggregazione di queste vescichette. Così il De-Saussure spiega come il vapore condensato rimane sospeso nell'atmosfera, e come le nubi ancorchè densissime si sostengono in aria. Difatti, secondo questo fisico, le vescichette in questione sarebbero formate, a guisa delle bolle di sapone, di un sottilissimo velo di acqua, nell'interno del quale sarebbe racchiusa dell'aria satura di vapore, la quale,

essendo meno densa dell'aria non satura, sarebbe la cagione della sospensione delle nubi nell'atmosfera. L'ascensione delle nebbie e delle nubi sotto l'azione del calor solare sarebbe quindi facile a spiegarsi. I globuli di cui sono formate si riscaldano per l'azione dei raggi solari, e l'aria in essi contenuta necessariamente si dilata e diviene assai più leggera dell'atmosfera, la quale è dotata di assai minore facoltà assorbente; conseguentemente essi ascendono fin dove la densità dell'atmosfera è eguale alla loro. Durante la notte le nubi si raffreddano, benchè lentissimamente, perchè continuano a ricevere il calore dell'irraggiamento terrestre; non di meno si osserva generalmente che dopo il tramonto del sole le nubi si abbassano sensibilmente. Le nebbie che formansi durante la notte nella stagione fredda, non s'innalzano spesso affatto durante il giorno, e ciò perchè i raggi del sole non sono abbastanza caldi per dilatare sufficientemente l'aria che si trova rinchiusa nelle loro vescichette; quindi invece d'innalzarsi o di disperdersi rimangono stazionarie sulla superficie della terra.

Le nubi in generale si distribuiscono nell'atmosfera a strati. L'altezza di questi strati varia da mille fino a dodici mila metri; difatti veggonsi talora delle nubi toccare la cima di colline assai basse, mentre che salendo sulla cima di altissimi monti, si veggono delle nubi che appajono tanto alte quanto quelle che scorgonsi dalle pianure. Gay-Lussac, ascenso col suo globo aereostatico all'altezza di 7000 metri sul livello del mare, vedeva al di sopra di sè delle nubi ad un'altezza grandissima.

Il vapore acquoso che forma le nubi si condensa in quelle parti dell'atmosfera dove il freddo è maggiore, e quindi ordinariamente negli strati più alti. Non di meno vi sono delle circostanze che raffreddano parzialmente un punto qualunque dell'atmosfera, e producono la condensazione di quel vapore che vi si trova; così per esempio una rapida rarefazione dell'aria può essere cagione di raffreddamento, e quindi di condensazione di vapore; come pure l'incontro di due correnti di aria, l'una calda e l'altra fredda, e più o men sature di vapore, può dar luogo ad una eguale condensazione. Talvolta insieme al vapore acquoso si condensa qualche prodotto volatile che ha emanato dal suolo. Così non di rado avviene che le nebbie abbiano un cattivo odore. Le nebbie che si di fre-

quente ricuoprono le città le più manifatturiere dell'Inghilterra, hanno l'odore dei prodotti volatili della combustione del carbone fossile, che con tanta profusione in quelle si consuma.

Della Pioggia. Se la temperatura di una nube già molto carica di umidità, diminuisce subitamente per una causa qualunque, il vapore vescicolare da cui è composta si precipita sotto forma di pioggia. La maniera colla quale accade la trasformazione delle vescichette in gocce d'acqua non è nota, e neanche sono ben note le circostanze di tale trasformazione; non di meno sembra che i venti e le correnti di aria vi abbiano una grande influenza; infatti è raro che nei nostri climi piova senza cambiamento di vento. Del resto questa parte della scienza è sempre assai oscura; e saranno necessarie infinite osservazioni, prima di poter presentare qualche dato sicuro sulle cause immediate della pioggia e sul modo con cui si forma. L'istrumento che serve a misurare la quantità d'acqua che in un dato tempo piove sopra una determinata estensione di terreno, è chiamato *Pluviometro*. Consiste in un vaso cilindrico (*Tav. VIII, Fig. 241*) di circa 20 centimetri di diametro ed alto 30, aperto in alto, terminato in basso da un tubo *c d*, che si ripiega in alto, e che è diviso in centimetri ed in millimetri. A pochi centimetri dall'orlo del cilindro *v* è un diaframma *a* fatto ad imbuto che impedisce l'evaporazione dell'acqua raccolta sul fondo del recipiente. L'altezza dell'acqua nel tubetto indica la quantità dell'acqua piovuta, ossia la grossezza dello strato di pioggia. Si costruiscono dei pluviometri alquanto diversi da quello descritto. Il recipiente raccogliitore è situato all'esterno su di un tetto elevato e libero dall'influenza di prossime mura; quello misuratore è nell'interno dell'osservatorio, e comunica col primo mediante un tubo fornito di robinetto. Le dimensioni dell'uno sono piuttosto considerevoli; quelle dell'altro assai minori; ma le loro capacità sono in un determinato rapporto. Perciò facendo scolare dal recipiente esterno nell'interno l'acqua raccolta durante una pioggia, dall'elevazione del liquido in quest'ultimo, deducesi quella dell'altro. Il recipiente misuratore si fa di cristallo, affinché possa facilmente scorgersi il

livello del liquido nel suo interno, ed è fornito ai due lati opposti di due scale divise in centimetri e millimetri.

È stato osservato che in generale la quantità di pioggia che cade è tanto più grande quanto più ci avviciniamo all'equatore, mentre che il numero dei giorni piovosi aumenta a misura che ci avviciniamo ai poli. Questa regola è non di meno soggetta a delle eccezioni dipendenti dalle località. Così per esempio vi sono dei paesi caldissimi come il Basso Egitto, in cui piove pochissimo, e ciò forse dipende dalla natura sabbiosa del suolo, il quale riscaldandosi moltissimo pel calor solare si oppone alla condensazione delle nubi. È stato pure osservato che ad egual latitudine cade maggior quantità di acqua nei paesi montuosi che nei paesi di pianura. Inoltre cade più acqua sui monti che nelle pianure contigue; così per esempio all'ospizio del Monte S. Bernardo cade più acqua, fra pioggia e neve, che a Ginevra. Il quadro seguente indica la quantità media di acqua che cade annualmente in varj luoghi.

Isola di S. Domingo.....	114 poll. d'acqua
Calcutta.....	76
Genova.....	32
Pisa.....	46
Napoli.....	35
Ginevra.....	29 $\frac{1}{2}$
Londra.....	19 $\frac{1}{2}$
Parigi.....	19 $\frac{1}{2}$
Pietroburgo.....	17

Cadono talvolta delle piogge abbondantissime; così per esempio a Bombay in un sol giorno son caduti 5 pollici d'acqua ed a Bajonna 10 pollici d'acqua in sei ore di tempo. A Genova, il 25 di ottobre 1822 cadde quasi 30 pollici di acqua, e questo è il risultato più rimarchevole che si possa citare in proposito.

Un'osservazione singolare è quella fatta nell'osservatorio di Parigi. Se si dispongono due pluviometri a differente altezza, si trova che nella stazione più bassa si raccoglie una maggior quantità di acqua. Il Matteucci ha costatato questo

fatto singolare, raccogliendo contemporaneamente l'acqua che piove sulla cima della torre della cattedrale di Pisa, e quella che cade al suo piede. Alcuni fisici spiegano ciò, ammettendo che le gocce della pioggia si accrescano cadendo, in grazia del condensarsi che fanno i vapori acquosi sulle medesime.

Delle nevi. La neve proviene da una condensazione prodotta da una causa analoga a quella della pioggia, ma nella quale i piccoli globuli d'acqua gelano in mezzo di un'atmosfera, la cui temperatura è al di sotto di zero. Questi piccoli globuli congelati si riuniscono insieme in un certo numero, e producono dei fiocchi irregolari. Se la neve si è prodotta in un tempo calmo e non è stata punto agitata, i suoi fiocchi presentano delle forme regolari, che riduconsi a delle specie diverse di stelle a sei raggi, i quali ora sono semplici ed ora più o meno ramificati, ed ogni raggio delle quali ed ogni ramificazione, consistono in piccoli prismi regolari a sei facce. (Tav. VIII, Fig. 242). Si può produrre artificialmente della neve introducendo dell'aria freddissima in una stanza molto calda e di cui l'aria sia satura di vapore: allora vedonsi cadere dei grani di acqua congelata. In alcuni paesi settentrionali, e sopra alcune cime delle Alpi si osserva della neve di color rosso. I naturalisti sono generalmente d'accordo nell'attribuire questo fenomeno alla presenza di una microscopica pianta crittogama distinta col nome di *Uredo Nivalis*.

La *grandine* deve avere un'origine simile a quella della neve; pur nonostante siccome alla sua formazione contribuisce anche l'elettricità, ne parleremo a suo luogo.

Della rugiada. La rugiada che si deposita sui corpi situati alla superficie terrestre quando il cielo è sereno, o dopo il tramonto del sole, o durante la notte finchè esso non risorge, è prodotta dalla precipitazione dell'umidità degli strati atmosferici in contatto della superficie terrestre, in conseguenza dell'irraggiamento nello spazio del calore acquistato durante il giorno. Il dottor Wells, a cui deve la teoria della rugiada, ha osservato che dei termometri posti sull'erba durante una notte chiara e serena, indicavano spesso 4, 6 ed anche 8 gradi meno di un termometro simile posto 4 piedi al di sopra del suolo. Quando il cielo è coperto di nubi non è sen-

sibile la rugiada, imperocchè il calore irraggiato dalla superficie terrestre è dalle nubi rimandato sulla terra, presso a poco in egual quantità. Difatti il medesimo dottor Wells non ha mai osservato differenza nella temperatura dei termometri disposti nel modo testè indicato, quando il cielo è coperto. Parimente sotto gli alberi o presso gli edifizi, la rugiada non è mai abbondante, poichè questi oggetti impediscono il libero irraggiamento della terra; da ciò l'uso di piantare a spaglieria i delicati alberi fruttiferi che temono la fredda rugiada del mattino. Il vento è pure di ostacolo alla rugiada, perchè portando esso continuamente dei nuovi strati d'aria in contatto dei corpi freddi, l'atmosfera non si satura mai di vapore, e quindi questo non può condensarsi. Tutti i corpi non si cuoprono egualmente di rugiada, e ciò perchè non si raffreddano tutti egualmente per irraggiamento. I corpi, la cui facoltà raggianti è considerevole, si raffreddano molto; tali sono, il vetro, la carta e le sostanze organiche come l'erba, le foglie ed il legno: è per questa ragione che la rugiada si deposita molto più abbondantemente su questi corpi che non sopra altri, i quali come i metalli irraggiano molto meno. A parità di condizioni relativamente all'irraggiamento, la quantità di rugiada che si deposita è in ragione della quantità di vapore acquoso che l'atmosfera contiene, ond'è che tutte quelle circostanze che tendono ad accrescere l'umidità dell'aria, come delle piogge recenti o delle deboli correnti di aria provenienti dal mare o da un lago, favoriscono la sua formazione.

La brina non è altro che rugiada congelata. Essa formasi quando la terra è bastantemente raffreddata dall'irraggiamento notturno, per convertire in ghiaccio il vapore acquoso, a misura che si precipita. Perciò tutto ciò che impedisce il libero irraggiamento della terra, come i muri, gli edifizi, gli alberi ec. impedisce ancora la formazione della brina.

GIUNTE AL PRESENTE VOLUME

Aggiunta al Capitolo della differente dilatabilità dei liquidi.
(Vedi pag. 247).

Abbiamo detto che il grado di dilatabilità dei differenti liquidi è variabile. — Si può aggiungere che nel maggior numero dei casi, la dilatazione di un liquido è in ragione inversa della sua densità. Così l'etere è più dilatabile dello spirito di vino; questo dell'acqua, e l'acqua più del mercurio. È stata determinata con esperienze esattissime la dilatazione apparente di varj liquidi, nel loro passaggio dalla temperatura di zero a quella dell'acqua bollente. Alcuni di questi risultati sono indicati nel quadro seguente.

NOMI DELLE SOSTANZE	DILATAZIONE
Acqua	$\frac{1}{22}$ del suo volume primitivo
Acido idroclorico	$\frac{1}{17}$ —
Acido nitrico	$\frac{1}{6}$ —
Acido solforico	$\frac{1}{17}$ —
Alcool	$\frac{1}{6}$ —
Etere solforico	$\frac{1}{14}$ —
Olio d'oliva	$\frac{1}{13}$ —
Essenza di Trementina	$\frac{1}{14}$ —
Acqua satura di sale	$\frac{1}{10}$ —
Mercurio	$\frac{1}{21}$ —

*Aggiunta al Capitolo degli apparecchi di sicurezza
delle macchine a vapore. (Vedi p. 318).*

Bourdon ha immaginato recentemente un manometro metallico che può rimpiazzare con vantaggio i manometri a mercurio. — Il pezzo principale di questo manometro consiste in un tubo di rame curvo *B*, le cui pareti sono sottili e flessibili, (Vedi Fig. 243, tavola aggiunta) nell'interno del quale si fa agire la pressione del vapore. Una delle estremità di questo tubo è fissa al punto in cui termina il canale *A*, pel quale giunge il vapore che viene dalla caldaja: l'estremità *C* è chiusa e libera con tutto il resto del tubo. La sezione trasversale di questo tubo non è circolare, ma invece è un'ellisse il cui asse maggiore è di 11 millimetri ed il minore di 4. Quando il vapore della caldaja comunica coll'interno del tubo *B*, la pressione che esercita contro le sue pareti lo gonfia un poco, diminuendo per tal modo lo schiacciamento della sua sezione trasversa. Questa deformazione cagiona un cambiamento nella curvatura del tubo, il quale tende a raddirizzarsi sempre più, a misura che l'esterna pressione aumenta. Ne succede che l'estremità *C* si sposta e fa muovere un ago *DEF* al quale è unita mediante un'asta *CD*. Quest'ago mobile attorno al punto *E*, scorre colla sua estremità *F* su di un arco diviso, la cui graduazione è stata fatta in modo che indichi la pressione del vapore in atmosfere, dalla posizione dell'ago. — Il manometro metallico di Bourdon è molto più comodo degli altri manometri che abbiamo descritti, nei quali è sempre da temersi la rottura dei tubi di vetro; ma fa d'uopo assicurarsi di tratto in tratto, che le sue indicazioni si sian conservate esatte, e non abbiano cangiato in seguito alle modificazioni lente a cui potrebbe andar soggetto lo stato molecolare del tubo ricurvo, sotto l'azione prolungata della pressione che si esercita nel suo interno.

INDICE

DELLE

MATERIE CONTENUTE IN QUESTO VOLUME

NOZIONI PRELIMINARI.

1. ^o Oggetto della fisica.	Pag. 4
2. ^o Proprietà generali dei corpi.	
Estensione	4
Impenetrabilità	7
Divisibilità	8
Porosità	40
Inerzia	41
3. ^o Nozioni generali sulle forze, sull'equilibrio e sul movimento.	
Definizione delle forze e del moto	43
Rapporto tra le velocità e le forze	ivi
Qualità delle forze	45
Moto uniforme e moto vario	46
Leggi del moto uniformemente accelerato	47
Equilibrio	49
Composizione delle forze	20
Coppie	27
Momenti di rotazione delle forze	ivi
Forza centripeta e forza centrifuga	29
Comunicazione del moto	32
4. ^o Macchine	
Leva	38
Sistema di leve	41
Puleggia	42
Sistema di pulegge	46
Taglie e polispasti	47
Tornio	48
Piano inclinato e vite	51
Cuneo	52
Considerazioni sopra le macchine in generale	54

DEI GRANDI AGENTI DI NATURA.

1.^o Attrazione.

1. ^o Gravitazione o attrazione a distanza	Pag. 57
2. ^o Gravità	60
Direzione della gravità	62
Centro di gravità	63
Peso	64
Determinazione del centro di gravità	ivi
Condizioni di equilibrio dei corpi gravi	68
La gravità agisce egualmente sopra tutti i corpi	72
Determinazione del peso dei corpi	74
Densità o peso specifico	77
Condizioni di equilibrio dei corpi sul piano inclinato	78
Condizioni di equilibrio nella vite	82
Leggi della caduta dei corpi	83
Caduta de' gravi per le linee curve	88
Pendolo	89
Leggi del movimento del pendolo	94
Misura della intensità della gravità col pendolo	95
Applicazione del pendolo alla dimostrazione esperimentale della rotazione della terra	98
3. ^o Attrazione molecolare.	
Coesione	403
Adesione	404

Fenomeni di capillarità	Pag. 406	Velocità dello scolo dagli orifizj delle pareti sottili	Pag. 457
Leggi dell'innalzamento dei liquidi nei tubi capillari	» 107	Tubi addizionali e loro influenza sull'efflusso	» 161
Attrazioni e repulsioni prodotte dalla capillarità	» 111	Scolo nei canali	» 162
Effetti diversi della capillarità	» 112	Reazione prodotta in un vaso per lo scolo del liquido che contiene	» 163
Cenni relativi alla teoria dei fenomeni capillari	» 113	Unità di misura nella distribuzione delle acque	» 164
Endosmosi	» 115	3. ^o <i>Proprietà dello stato gassoso dei corpi.</i>	
1. ^o <i>Proprietà dello stato solido.</i>	» 117	Peso o densità dei gas	» 165
Cristallizzazione	» 119	Forza espansiva dei gas	» 167
Elasticità	» 120	Compressibilità dei gas	» 169
Elasticità dei fili e delle lamine tese nel verso della loro lunghezza	» 121	I gas trasmettono egualmente le pressioni in tutti i sensi	» 170
Elasticità di torsione	» 125	Condizioni di equilibrio dei gas	» 171
Influenza dell'elasticità nell'urto dei corpi	» 126	Misura della pressione atmosferica	» 172
Duttilità	» 129	Barometro	» 174
Tenacità	» 130	Costruzione del barometro	» 176
Durezza	» 131	Varie specie di barometri	» 179
2. ^o <i>Proprietà dello stato liquido de' corpi.</i>		Variaz. del barometro	» 180
Mobilità, compressibilità ed elasticità dei liquidi	» 132	Rapporto tra il volume e la forza elastica dei gas	» 181
Principio d'eguaglianza di pressione	» 135	Limiti della legge di Mariotte	» 183
Equilibrio di una massa liquida non sottoposta ad alcuna azione estranea	» 136	Coercibilità e liquefazione dei gas	» 184
Equilibrio dei liquidi pesanti	» 137	Manometri	» 186
Pressioni esercitate dalle masse liquide	» 139	Applicazione del barometro alla misura delle altezze	» 188
Equilibrio dei liquidi ne'vasi comunicanti	» 144	Equilibrio dei corpi immersi nei gas	» 191
Equilibrio dei corpi immersi	» 146	Globi areostatici	» 195
Detorminazione del peso specifico dei corpi solidi e liquidi	» 149	Movimenti comunicati ai corpi gassosi; ventilatori e macchine soffianti	» 196
Areometri	» 152	Scolo dei gas compressi; gasometri	» 199
<i>Iidrodinamica.</i>		Reazione prodotta dallo scolo dei gas	» 201
Movimento di un liquido nell'interno del recipiente durante l'efflusso	» 155	Influenza della pressione atmosferica sull'efflusso dei liquidi	» 202
Efflusso dagli orifizj di sottili pareti, e costituzione della vena liquida	» 159	Sifone	» 203
		Lampade a livello costante	» 205
		Vaso di Mariotte	» 206
		Fontana intermittente	» 206

5.° *Macchine più importanti, il giuoco delle quali è fondato sulle proprietà dell'aria.*

Macchine per la dilatazione dell'aria.	Pag. 206
Macchina pneumatica . . .	» 208
Macchine per comprimer l'aria.	» 210
Fontana di Erone	» 212
Fontana di compressione. .	» 213
Trombe	» ivi
Pressa idraulica.	» 216
Strade ferrate atmosferiche	» ivi
Applicazione dell'aria compressa come forza motrice.	» 219

2.° *Calorico.*

1.° *Dilatazione.*

Temperatura	» 224
Principj del termometro a mercurio	» ivi
Costruzione del termometro	» 229
Termometro ad alcool. . .	» 230
Varie scale del termometri.	» ivi
Termometrografi	» 234
Termometro a massimo ed a minimo di Walferdin	» 232
Pirometri.	» 234
Termoscopi.	» 236
Cenni storici intorno all'invenzione del termometro	» 237
Misura della dilatazione dei solidi	» ivi
Coefficiente di dilatazione. Applicazioni della dilatabilità dei metalli . . .	» 238
Misura della dilatazione dei liquidi	» 244
Differente dilatabilità dei liquidi	» 247
Massimo di densità dell'acqua.	» 248
Misura della dilatazione dell'aria e dei gas. . .	» 249
Termometro ad aria. . .	» 253
Movimenti dell'aria prodotti dal calore . . .	» 255
Ventilazioni fondate sopra le correnti d'aria prodotte dal disequilibrio di temperatura. .	» 257

2.° *Cambiamento di stato.*

Fusione.	Pag. 258
Condizioni della fusione. .	» 260
Solidificazione	» 263
Passaggio dallo stato liquido all'aeriforme . . .	» 265
Ebullizione	» 267
Cause che fanno cangiare il punto di ebullizione di un liquido.	» 269
Forza elastica de' vapori. .	» 273
Tensione massima de' vapori	» 275
Forze elastiche de' vapori alle diverse temperature	» ivi
Equilibrio di tensione tra due spazj l'uno caldo e l'altro freddo. . . .	» 276
Tensioni massime del vapore acquoso alle diverse temperature comprese tra 0° e 400° . .	» 277
Tensioni dei vapori, ed in particolare del vapore acquoso al di sotto di zero	» 278
Forze elastico dei vapori alle temperature di ebullizione dei liquidi da cui provengono . .	» 279
Tensioni massime del vapore acquoso a temperature superiori a 400° . .	» 280
Densità dei vapori . . .	» 283
Condensazione dei vapori	» 288
Identità dei gas e dei vapori	» 289
Calorico latente dei vapori	» ivi
Miscuglio dei vapori coi gas.	» 294
Condensazione dei vapori mescolati ai gas. . . .	» 295
Fenomeni di catarfazione. .	» 296
Evaporazione.	» 298
Freddo prodotto dall'evaporazione.	» 300
Igrometria	» 302
Applicazioni del vapore. .	» 340
Principj generali delle macchine a vapore . .	» ivi
Caldaie a vapore	» 316
Apparecchi di sicurezza delle caldaie a vapore. .	» 318
Delle macchine a vapore fisse	» 324
Macchine ad alta pressione.	» 328
Misura degli effetti delle macchine a vapore . .	» 329

Macchine locomotive. . .	Pag. 329
Impiego del vapore come mezzo di riscaldamento. . .	» 335
3.° <i>Propagazione del calore.</i>	
Propagazione del calore per irraggiamento. . .	» 336
Leggi sulla intensità del calorico raggiante. . .	» 337
Velocità del calorico raggiante.	» 339
Riflessione del calorico raggiante.	» 340
Potere emissivo o irraggiante dei corpi.	» 343
Principio dell'equilibrio inoblie di temperatura. . .	» 345
Influenza della natura della superficie dei corpi sull'emissione del calorico raggiante. . .	» 345
Potere riflettente dei corpi.	» 346
Potere assorbente dei corpi.	» 347
Potere diffusivo dei corpi.	» 348
Influenza della natura della sorgente calorifica sulla facoltà assorbente dei corpi.	» ivi
Trasmissione del calorico raggiante attraverso i solidi e i liquidi. . .	» 350
Corpi atermiani e diatermaniani.	» 351
Teoria dei Melloni sulla costituzione dei raggi calorifici.	» 351
Propagazione del calore attraverso i solidi. . .	» 356
Propagazione del calore attraverso i liquidi. . .	» 360
Propagazione del calore attraverso i gas. . . .	» 363
Legge del raffreddamento dei corpi.	» ivi
4.° <i>Calorimetria.</i>	
Calori specifici o capacità calorifiche dei solidi e dei liquidi.	Pag. 367
Capacità calorifiche dei gas.	» 370
5.° <i>Sorgenti del calorico.</i>	
1.° <i>Sorgenti accidentali.</i>	» 376
Percussione.	» ivi
Confricazione.	» 377
Compressione.	» ivi
Cambiamento di stato. . .	» ivi
Azioni chimiche.	» 378
Azioni chimiche producenti freddo e miscugli frigorifici.	» 380
Calore animale.	» 383
2.° <i>Sorgenti permanenti.</i>	» 384
Sole.	» ivi
Stelle fisse.	» 385
Calor terrestre.	» 386
6.° <i>Fenomeni meteorologici dovuti al calore</i>	
Effetti generali prodotti dal calor solare, dal calor terrestre e dal calore delle stelle fisse. . .	» ivi
Temperatura media di un luogo.	» 391
Temperatura media alle differenti altitudini e linee isoterme.	» 393
Climi per ciò che dipende dalla temperatura. . .	» 394
Temperature a differenti altezze al di sopra del suolo.	» 395
Nevi perpetue.	» 396
Variazioni della pressione atmosferica.	» 397
Venti.	» 399
Nebbie e Nubi.	» 403
Pioggia.	» 405
Neve.	» 407
Rugiada e brina.	» ivi
Aggiunte al 4.° volume. . .	» 409

FINE DEL PRIMO VOLUME.

ERRATA-CORRIGE

	ERRORI	CORREZIONI
Pag. 49.	7. eguale vt	eguale a vt
190.	33. $PP' - PP' = \frac{2}{P} - PP'$	$PP' - PP' = P^2 - PP'$
"	34. $PP' = \frac{2}{P}$	$PP' = P^2$
244.	24. orizzontale BC , nei quali	orizzontale BC (Tavola VI, Figura 480bis), nei quali
343.	2. al fuoco dello specchio M	al fuoco dello specchio MN

Alle Figure 30 e 59 della Tavola II, si sostituiscano le seguenti
La Figura 243 appartiene alle aggiunte del presente volume.

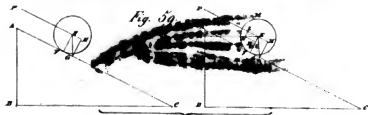
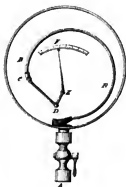
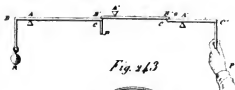


Fig. 30.



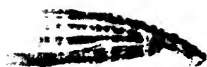


Fig 4

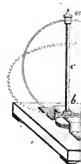
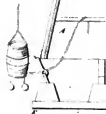
Fig 5

Fig 6

Fig 7

Fig 8

Fig 9



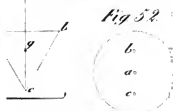
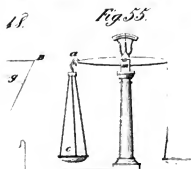
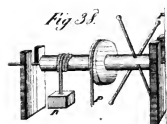
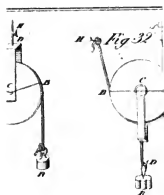


Fig. 70



Fig 1

Fig. 69. ²

Fig 8-4



Fig 85

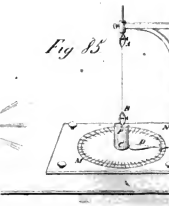
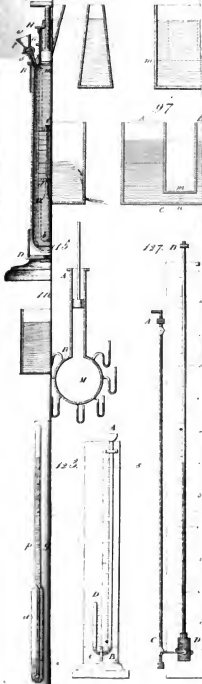
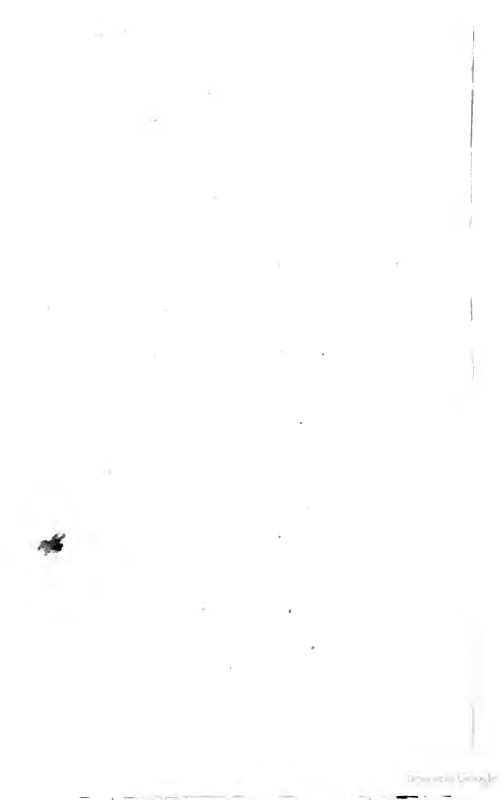


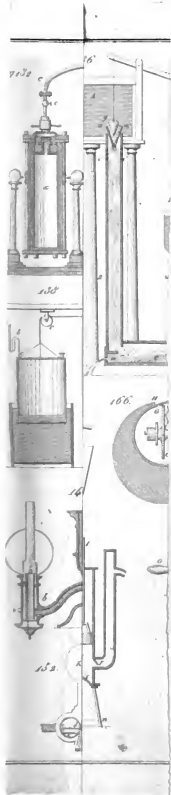
Fig. 96

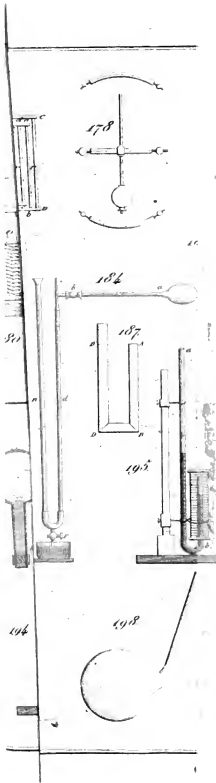
96

97

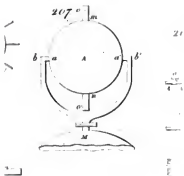




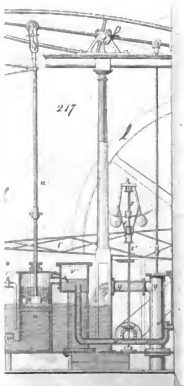




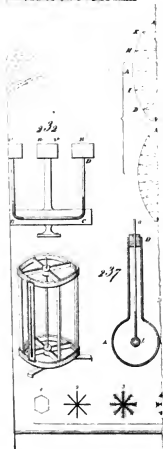
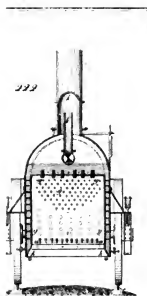




219







ELEMENTI DI FISICA

E SUE

PRINCIPALI APPLICAZIONI

DI

LEONARDO DOVERI

Dottore in Scienze Fisiche e Naturali
Prof. di Fisica e Chimica
nel R. Liceo Militare Arciduca Ferdinando

DESTINATI PARTICOLARMENTE AGLI ALUNNI DEI LICEI
DELLE SCUOLE TECNICHE E DEI COLLEGI

VOL. II.

FIRENZE

TIPOGRAFIA GALILEIANA
di M. Cellini e C.

1855



ELEMENTI DI FISICA

SUE PRINCIPALI APPLICAZIONI

3. DELL' ELETTRICITÀ.

I fenomeni dovuti a questo mirabile agente di natura si manifestano sotto caratteri assai diversi, a seconda del modo con cui il medesimo si produce e si diffonde nei corpi. Talvolta l'elettricità si accumula alla loro superficie, e vi si conserva in equilibrio ad uno stato di *tensione* che si rende sensibile per mezzo di attrazioni e di scintille; tal'altra penetra nell'interno della loro massa e li traversa in forma di *corrente* con immensa velocità. Nel primo caso si ha l'*elettricità statica*, ossia in equilibrio; nel secondo l'*elettricità dinamica* od in movimento. Esistono poi in natura dei corpi i quali, ai fenomeni d'attrazione e di repulsione che presentano, mostrano evidentemente di esser percorsi da correnti elettriche. Son questi i corpi così detti *magnetici*, e l'insieme dei loro fenomeni prende nella scienza il nome di *magnetismo*. Infine altri corpi naturalmente non magnetici, divengono tali tosto che sono percorsi da una corrente elettrica, e cessano di esserlo appena la medesima interrompe il suo passaggio. Questi sono i corpi distinti col nome di *elettromagnetici*, ed i loro fenomeni costituiscono l'*elettromagnetismo*.

1.^o *Elettricità Statica.*

Il nome di *Elettricità* viene dalla parola greca *ροητηλον*, che significa ambra, imperocchè il primo fatto relativo ai fenomeni elettrici fu quello di cui parlano gli antichi filosofi greci, consistente nella proprietà che acquista l'ambra gialla strofinata, di attrarre i corpi leggeri, come minuzzoli di carta o di paglia. Ma a questo fenomeno si limitarono le cognizioni degli antichi sull'elettricismo. Fino al termine del secolo sedicesimo, non si erano fatte altre scoperte relative ai fenomeni di questo agente; ma in quell'epoca Gilbert, medico della regina d'Inghilterra Elisabetta, aprì la via delle ricerche su tal soggetto; facendo conoscere che, oltre l'ambra gialla, moltissime altre sostanze godono della facoltà di elettrizzarsi coll' strofinamento, vale a dire di attrarre i corpi leggeri. Dopo le osservazioni di Gilbert, le scoperte si succedono rapide e numerose, e fra i molti nomi a cui la scienza dell'elettricità va debitrice dei mirabili fatti che la costituiscono, primeggiano quelli di Ottone di Guericke, Epino, Franklin, Beccaria, Volta, Davy, Oersted, Ampère, Schweigger, Arago, Nobili, De la Rive, Faraday, Becquerel, Matteucci. Noi ci accingiamo adesso a studiare con ordine i fenomeni dell'elettricità statica.

Svolgimento dell'elettricità colla confricazione. Un numero considerevole di corpi, come l'ambra, le resine, lo zolfo, il vetro, strofinati con un pezzo di lana o di seta, ovvero con una pelle di gatto, acquistano la proprietà di attrarre dei corpi leggeri; quali possono essere delle foglie d'oro battuto, della segatura di sughero, o di midolla di sambuco, dei frammenti di carta ec. Onde mostrare con più evidenza queste attrazioni s'impiega il così detto *pendolino elettrico*, consistente in una piccola palla di midolla di sambuco sospesa ad un filo di cotone o di seta, che attaccasi ad un sostegno (*Tav. I, Fig. 1*). Allorquando si avvicina al medesimo un corpo elettrizzato collo strofinamento, come un bastone di ceralacca, un tubo di vetro od altro, vedesi il pendolino correre verso di esso e rimanervi anche per breve tempo aderente.

Ma non tutti i corpi godono della proprietà di elettrizzarsi colla confricazione. Un cilindro metallico, un pezzo di legno, un cannello di carbone non si elettrizzano in tal guisa. Perciò gli antichi fisici distinsero i corpi, in *idioelettrici* ed *anelettrici*, chiamando col primo nome quelli capaci di elettrizzarsi collo strofinamento, e col secondo gl'incapaci.

Conducibilità dei corpi per l'elettrico. L'accennata distinzione fu bentosto riconosciuta mal fondata, imperciocchè fu facile l'accorgersi che i corpi così detti anelettrici non eransi collocati nelle circostanze convenienti per mostrare l'elettricità che anch'essi sviluppano per confricazione. Queste circostanze dipendono da un'altra proprietà dei corpi rispetto all'elettrico, vale a dire quella di trasmettere l'elettricità o d'impedirne il passaggio. A cagione di esempio, se noi strofiniamo colla nostra mano o tuffiamo nell'acqua un bastone di ceralacca o un cilindro di vetro già elettrizzati collo strofinamento, essi cessano immediatamente di attrarre i corpi leggieri; lo stesso accade se li tocchiamo con un metallo o li poniamo in contatto del suolo. Se invece li tocchiamo o li posiamo sopra una stoffa di seta o di lana, sopra un piano di resina od un piatto di vetro, essi conservano la loro elettricità. Perciò la mano, l'acqua, i metalli, il suolo, sono atti a dar passaggio, a trasmettere l'elettrico, e perciò diconsi *conduttori*; mentre la lana, la seta, le resine, il vetro non la trasmettono, e perciò diconsi *cattivi conduttori*, *isolatori* od anche *coibenti*. La scoperta della distinzione dei corpi in conduttori ed in coibenti, fu fatta da Gray, fisico inglese, nel 1727.

Ora sarà facile intendere perchè i corpi conduttori strofinati nel modo ordinario non si elettrizzano: l'elettricità che in essi svolgesi colla confricazione si trasmette alla mano che li tiene, e quindi al corpo ed al suolo, e perciò non ne rimane in essi veruna traccia. Potrà non di meno mostrarsi che anche in essi avviene lo svolgimento dell'elettricità collo strofinamento, se invece di tenerli direttamente colla mano, li terremo mediante un pezzo di lana o di seta, o con un manico di vetro. Un conduttore metallico sostenuto da un piede di sostanza coibente dicesi *isolato*: se in tale condizione si confrica con una pelle di gatto, o si percuote con

una coda di volpe, non stenta ad elettrizzarsi. I corpi coibenti, come il vetro, lo zolfo e le resine, manifestano i fenomeni elettrici dopo lo strofinamento¹, appunto perchè non trasmettono l'elettricità, e la conservano nei punti ove si svolge. Ed infatti se prendonsi dei lunghi bastoni di ceralacca o dei lunghi tubi di vetro, e si confricano soltanto ad un'estremità, sarà facile accorgersi che l'elettricità resta solo in quel punto e non si diffonde sul resto della superficie.

Adunque egli è evidente che i corpi idioelettrici sono i coibenti, e gli anelettrici i conduttori; perciò la primitiva distinzione era erronea e solo dipendente dalla conducibilità. Tutti i corpi posti in convenienti circostanze possono elettrizzarsi collo strofinamento. Fra i corpi coibenti merita fin da questo momento particolare attenzione l'aria in mezzo a cui operiamo. Se la medesima desse passaggio alla elettricità, i corpi ne rimarrebbero sprovvisti non appena in essi si svolgesse, e i fenomeni dell'elettricità statica ci sarebbero ignoti. Invece tra i corpi conduttori, quello su cui più facilmente si disperde l'elettrico, è il *suolo*, ed anzi è sempre in esso che va a diffondersi l'elettricità che passa attraverso i corpi buoni conduttori. Così avviene se noi tocchiamo colla mano un corpo elettrizzato, o se lo posiamo sopra una tavola od altro sostegno buon conduttore: l'elettricità, mediante il nostro corpo o la tavola o il sostegno passa nel terreno e si disperde in un istante in quell'immenso conduttore che è il globo intero della terra. Perciò il suolo, relativamente all'elettricità, ha ricevuto il nome di *serbatoio comune*.

Azione reciproca dei corpi elettrizzati. Per istudiare l'azione che si manifesta fra i corpi elettrizzati, si fa uso di varj pendolini che debbono essere sospesi a dei fili di seta, affinchè la leggiera palla di sambuco si trovi isolata. È facile accorgersi che un corpo elettrizzato dopo avere attratto uno di questi pendolini, immediatamente lo respinge. Parimente se si elettrizzano col vetro strofinato due di questi pendolini e quindi si accostano l'uno all'altro, essi respingonsi. Lo stesso accaderebbe se ambedue si elettrizzassero colla ceralacca confricata. L'esperimento può anche ripetersi con un doppio pendolino a fili conduttori, vale a dire di cotone o di lino, isolato

dal sostegno con un po' di ceralacca. Non appena si elettrizza, i due pendolini divergono. Un fascio di pendolini simili ai precedenti, elettrizzato con un mezzo qualunque, si apre per la repulsione dei pendolini fra loro. Apparisce adunque evidente che *i corpi egualmente elettrizzati si respingono*. Nei corsi di fisica si suol dimostrare questo principio con esperienze variatissime, fra le quali giova ricordare quelle conosciute coi nomi l'una di *danza elettrica*, l'altra di *scampanio elettrico*. La prima si eseguisce per mezzo di due piatti metallici disposti ad una certa distanza l'uno sull'altro; il primo si fa comunicare mediante una catenella metallica con una macchina da cui svolgesi in copia l'elettricità; l'altro invece collo stesso intermezzo col suolo; e sul medesimo son posti molti leggieri corpicciattoli, come palline di sambuco, barbe di penna, frammenti di carta ec. Non appena il primo piatto si elettrizza, i corpiccioli del secondo sono attratti; ma tosto che pel contatto si sono elettrizzati vengono respinti, e ricadono sul piatto inferiore, ove, a motivo della stabilita comunicazione col suolo, perdono l'acquistata elettricità. Allora di nuovo sono attratti per quindi esser respinti; e così ripetendosi successivamente tali attrazioni e repulsioni, accade fra i due piatti una specie di danza che può farsi durare a piacimento. Lo *scampanio elettrico* si ottiene sospendendo una pallina metallica ad un filo isolatore di seta, tra due campanine pure metalliche, l'una in comunicazione col suolo, l'altra colla macchina elettrica (*Tav. I, Fig. 2*). Le palline *a* e *c* sono attratte dalle campanine *d* ed *e* elettrizzate, le toccano e poi sono respinte sulla campanina *b* che comunica col suolo, alla quale cedono perciò la loro elettricità.

Sopra il principio che i corpi egualmente elettrizzati si respingono, sono fondati la maggior parte di quegli apparecchi destinati a scoprire la presenza dell'elettricità, e che diconsi *elettroscopi*. Il più semplice elettroscopio consiste in un doppio pendolino sospeso entro una bottiglia di vetro, affinchè i movimenti dell'aria non lo agitano e non si disperda troppo presto l'elettricità comunicatagli. In luogo del doppio pendolino si adoperano con più vantaggio due sottili pagliuzze o due foglie d'oro poste quasi a contatto entro un vaso di vetro chiuso

ed attaccate con una loro estremità ad una verga metallica che termina esternamente in un bottone pure metallico (*Tav. I, Fig. 3*). Allorquando si pone a contatto di questo bottone il corpo elettrizzato, le due foglie divergono, e dal grado di loro divergenza si giudica dell'intensità della carica elettrica; ed a quest'uopo talvolta disponesi dietro alle medesime un arco graduato. L'elettroscopio a foglie d'oro è il più sensibile attesa l'estrema leggerezza delle sue foglie. Onde accrescerne la sensibilità e ristabilire le foglie nella loro posizione naturale dopo la divergenza, si applicano sulle pareti opposte della boccia due laminette metalliche o due fili metallici, i quali pongonsi in comunicazione col suolo. In questo modo allorchè le foglie elettrizzate hanno perduta l'elettricità toccando le lamine metalliche, tornano alla primitiva posizione. Si costruisce anche un elettroscopio con un sol pendolino $a n$ (*Tav. I, Fig. 4*), mobile intorno al punto a cui è sospeso. Nella sua posizione verticale trovasi a contatto di un'asta conduttrice $a m$, insieme a cui si elettrizza. Tosto che ciò avviene, il pendolino è respinto dall'asta, e fa con essa un angolo più o meno grande secondo l'intensità della forza che lo respinge, del quale angolo si ha la misura applicando all'asta fissa un semicircolo graduato, al cui centro trovasi il punto di sospensione del pendolino. Questo istrumento appellasi *Elettrometro a quadrante di Henly*.

Se invece di comunicare a due pendolini l'elettricità proveniente da uno stesso corpo, vetro o resina che sia, si comunica ad uno di essi l'elettricità del vetro e all'altro quella della resina, si osserva che accostandoli, invece di respingersi, si corrono incontro e si attraggono. Dufay, fisico francese, il quale scuoprì questo fatto nel 1733, chiamò elettricità *vitrea* quella svolta dalla confricazione del vetro, ed elettricità *resinosa* quella svolta dalle resine. Dunque *due corpi elettrizzati, l'uno di elettricità vitrea e l'altro di elettricità resinosa, si attirano*.

Allorquando si produce dell'elettricità colla confricazione di due corpi fra loro, si osserva che ciascuno di essi ha preso uno stato elettrico diverso dall'altro. Così confricando il vetro con della lana, il vetro prende l'elettricità vitrea, la lana

l'elettricità resinosa. Infatti se con questi due corpi si elettrizzano due pendolini, si vede che accostandoli si attirano; ed inoltre il pendolino elettrizzato colla lana ne respinge un altro elettrizzato colla resina. Viceversa confricando colla lana un bastone di ceralacca, la prima acquista l'elettricità vitrea, il secondo la resinosa.

Due corpi elettrizzati, l'uno di elettricità vitrea e l'altro di elettricità resinosa, posti a contatto riprendono lo stato naturale. L'esperienza può farsi con due pendolini, ovvero con due corpi i quali confricati insieme si elettrizzano: lasciati qualche tempo insieme perdono l'acquistata elettricità. Adunque *le due differenti elettricità si neutralizzano nel contatto.*

Ipotesi intorno alla natura dell'elettricità. I fisici onde spiegare i fenomeni descritti hanno immaginato due differenti teorie. In una, che è quella di Franklin, si ammette un sol fluido; nell'altra, che è dovuta a Symmer, se ne ammettono due. Nella prima le parti del fluido imponderabile costituenti l'elettrico si respingerebbero tra loro, mentre sarebbero attratte dalla materia ponderabile. Ogni corpo conterrebbe una certa quantità di questo fluido, dipendente dalla sua massa e dalla sua natura, la quale sarebbe in equilibrio colla elettricità degli altri corpi, e lo costituirebbe allo stato naturale. Le diverse cause svolgenti elettricità agirebbero aumentando la quantità del fluido in un corpo e diminuendola nell'altro; e questi due stati di eccesso e di difetto del fluido elettrico nei corpi, costituirebbero le due elettricità sviluppate colla confricazione del vetro e delle resine. In questa teoria dicesi elettrizzato *in più, in eccesso, o positivamente* un corpo che ha uno stato elettrico eguale a quello del vetro strofinato colla lana, e dicesi elettrizzato *in meno, per difetto, o negativamente* un corpo elettrizzato come la resina strofinata colla lana. L'attrazione che si manifesta fra due corpi elettrizzati differentemente dipenderebbe in questa teoria dalla tendenza dei medesimi a riacquistare il loro naturale stato di equilibrio. Nell'ipotesi di Symmer si ammette invece che tutti i corpi allo stato naturale contengano i due fluidi combinati in eguali quantità; e che i due fluidi si attirino reciprocamente, mentre le parti di ciascuno di essi respingonsi. Le cause producenti

i fenomeni elettrici distribuirebbero disugualmente i due fluidi sopra i due corpi che confricati si elettrizzano, ed uno di questi prenderebbe un eccesso di un fluido e l'altro un eccesso dell'altro. Il fluido che si trova in eccesso nel vetro confricato colla lana vien detto fluido *vitreo*, quello della ceralacca e delle resine fluido *resinoso*.

Di queste due teorie, la prima, attesa la sua maggiore semplicità, ci sembra la più razionale. Del resto, ambedue spiegano la maggior parte dei fenomeni elettrici.

Leggi delle attrazioni e repulsioni elettriche. Queste leggi furono stabilite da Coulomb per mezzo della sua bilancia di torsione di cui abbiamo già fatto parola (Vol. I, pagina 125). In questo apparecchio si misura l'intensità di una forza facendola agire all'estremità dell'ago sospeso al filo di torsione, e determinando l'angolo che questo forma allontanandosi dalla sua posizione di equilibrio. Si oppone adunque alla forza che si vuol misurare, la forza di torsione del filo, la quale è proporzionale all'angolo di torsione. Allorquando si applica la bilancia di torsione alla misura delle azioni elettriche, essa deve essere modificata nel modo seguente (Vol. I, *Tav. III, Fig. 86*). L'ago orizzontale dev'essere di gomma lacca, cioè a dire di materia perfettamente coibente, e deve portare ad una delle sue estremità una piccola palla di midolla di sambuco, o un dischetto di sottilissima lamina metallica. Il filo sottilissimo d'ottone che occupa l'asse dello apparecchio e a cui è sospeso l'ago, è fisso colla sua estremità superiore *a* nell'asse di un tamburo metallico girevole orizzontalmente entro un altro tamburo fisso, il cui margine è graduato. L'asse del tamburo mobile porta una lancetta, destinata a indicare il movimento di rotazione del tamburo stesso, e in conseguenza la torsione che si dà al filo mediante questo movimento. Questa parte dell'apparecchio dicesi *micrometro*. La parete superiore della campana di vetro in cui si muove l'ago di gomma lacca ha un foro *m*, per mezzo del quale s'introduce nella bilancia una palla metallica fissata ad un manico isolante, la quale dev'esser portata a contatto del dischetto o della pallina dell'ago orizzontale. La parete laterale e circolare della campana è fornita di un cerchio graduato, situato sul piano stesso in cui sono

compresi l'asse dell'ago di gomma lacca, il centro del suo disco, ed il centro della palla metallica. Prima di procedere agli esperimenti fa d'uopo rendere perfettamente asciutta l'aria della campana, mediante sostanze essiccanti. Ciò avvenuto, s'introduce la palla metallica isolata nell'interno della campana, dopo averla in qualche modo elettrizzata, e si porta a contatto del dischetto dell'ago mobile. Subito dopo il contatto i due corpi respingonsi essendosi egualmente elettrizzati, e l'ago orizzontale dopo qualche oscillazione si ferma in un punto distante da quello della prima posizione, e fra di essi sarà compreso un arco che potrà determinarsi per mezzo del cerchio graduato della parete. In questo punto la torsione del filo fa equilibrio alla forza repulsiva, e serve a misurarla. La prima ci è data dal numero dei gradi dell'arco di allontanamento.

Ora, per determinare la relazione che passa fra le forze repulsive di cui si tratta, e le distanze a cui si esercitano, basterà variare le posizioni di equilibrio dell'ago orizzontale e del dischetto elettrizzato che sopporta. A tal fine si fa girare il tamburo superiore del micrometro di un certo numero di gradi, in modo da ravvicinare il dischetto alla palla metallica elettrizzata. Una volta ristabilito l'equilibrio si nota il nuovo angolo di deviazione dell'ago. In questo caso la repulsione essendo accresciuta, è pure accresciuta la torsione che le fa equilibrio. Quando si è girato il tamburo del micrometro, si è torto il filo nel verso contrario della repulsione, ond'è evidente che questa forza fa equilibrio all'angolo di deviazione dell'ago orizzontale di gomma lacca, più il numero di gradi fatti fare al tamburo del micrometro. Variando in tal guisa le distanze fra la palla e il dischetto elettrizzati, si trova che alle distanze $1, \frac{1}{4}, \frac{1}{9}$ le repulsioni sono espresse da $1, 4, 16$. Adunque *le repulsioni elettriche variano in ragione inversa dei quadrati delle distanze.*

Lo stesso metodo d'osservazione può essere adoperato per avere la legge delle attrazioni elettriche; ma in questo caso bisogna torcere il filo nel verso contrario onde impedire l'attrazione. La palla isolata dev'essere elettrizzata di elettricità contraria a quella del dischetto. Si portano a differenti distanze

l'una dall'altro, e si gira più o meno il micrometro nel verso contrario dell'attrazione, fino ad ottenere l'equilibrio. Si trova così che, *le attrazioni elettriche seguono la stessa legge delle repulsioni.*

Chiamando f l'intensità totale della forza con cui si attirano o si respingono due corpi sferici elettrizzati, posto che la loro distanza rettilinea sia eguale all'unità, portati alla distanza d , la forza colla quale seguitano ad attrarsi o a respingersi sarà espressa da $\frac{f}{d^2}$.

Resta ora a determinarsi in qual modo l'elettricità propria di ciascuno dei corpi intervenga nella forza totale d'attrazione o di repulsione che si spiega fra di essi. A questa determinazione è pure giunto Coulomb per mezzo della sua bilancia, riducendo successivamente, di metà in metà, le cariche elettriche della palla metallica elettrizzata di cui si fa uso in quest'apparecchio; ed sperimentando ogni volta la sua azione attrattiva o repulsiva sopra il dischetto dell'asta mobile, elettrizzato sempre della stessa quantità. Per togliere la metà del suo elettricismo alla palla metallica in discorso, basta toccarla con un'altra palla, della stessa natura, dello stesso diametro, ed egualmente isolata: l'elettricità della prima si divide sulle due palle, ed a ciascuna rimane la metà della primitiva carica. Toccando nuovamente la stessa palla con una nuova palla eguale, l'elettricità che resterà ad ognuna sarà $\frac{1}{4}$ della quantità primitiva, e così proseguendo si potrebbe ridurre la carica elettrica della prima palla ad $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{16}$ ec. di ciò che era in principio. Introducendo successivamente nella bilancia di Coulomb, la palla dopo ognuna di queste riduzioni, si osserva che onde mantenere costantemente alla stessa distanza il dischetto dell'asta mobile, è necessario diminuire in proporzione della diminuzione delle cariche della palla la torsione totale del filo. Da ciò deducesi che *le azioni elettriche sono proporzionali ai prodotti delle quantità d'elettricità che agiscono fra loro.* Infatti rappresentando con $\mathfrak{I}$ la carica elettrica costante del dischetto, i prodotti delle quantità d'elettricità che agiscono fra loro prima e dopo le successive riduzioni sono 1 , $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ ec.; i quali variano appunto nella stessa guisa delle azioni attrattive o

repulsive. Quindi chiamando r ed r' le quantità di elettricismo di due corpi, e d la loro distanza, la forza totale con cui si attraggono o si respingono, sarà espressa da $\frac{rr'}{d^2}$. Questa forza vien chiamata *reazione elettrica*.

Distribuzione dell'elettricità sui corpi. Cominciamo a studiare come l'elettricità si disponga in equilibrio nei corpi conduttori isolati. Abbiamo visto che toccando una palla elettrizzata con un'altra simile allo stato naturale la quantità di elettricità contenutavi si riduceva a metà. Coulomb riconobbe facilmente che si otteneva lo stesso risultato adoprando una seconda palla di egual volume, qualunque fosse la sua natura e la sua massa, od anche una palla vuota, o un dischetto la cui superficie fosse eguale a quella della palla elettrizzata. Questi risultati non possono concepirsi senza ammettere che l'elettricità non si accumuli nelle parti interne dei conduttori, ma si porti invece alla loro superficie; la qual deduzione è perfettamente confermata da altre dirette esperienze. Infatti si abbia una sfera di ottone vuota ed isolata, la quale abbia un foro; si elettrizzi, e si porti a contatto delle sue interne pareti una pallina metallica isolata; questa non acquisterà la minima traccia di elettricità; come ci sarà facile provarlo accostandola ad un pendolino o ad un elettroscopio; ma se invece colla medesima toccheremo l'esterna superficie della palla, sarà facile mostrare, cogli stessi mezzi, che si sarà elettrizzata. Se una sfera di metallo isolata si copra con due emisferi cavi sottilissimi di foglia metallica, che si possano mettere e togliere mercè due manichi coibenti, e quindi si elettrizzi; se dopo si tolgano pe' manichi anzidetti gli emisferi, questi porteranno via tutta l'elettricità dal globo, il quale rimarrà allo stato naturale. Adunque l'elettricità comunicata ad un corpo conduttore isolato corre tutta a distribuirsi sulla superficie del corpo, formandovi così uno strato di cui la superficie esterna è quella stessa del corpo in contatto dell'aria. La grossezza di questo strato è sempre estremamente piccola, imperciocchè l'esperienza ha provato che la stessa quantità di elettricità era presa da una sfera piena, come da una di egual diametro vuota e formata da uno strato metallico della maggiore possibile sottiliezza.

L'accumulazione dell'elettricità alla superficie dei corpi è una conseguenza della forza repulsiva che anima le sue parti. Giunto alla superficie dei corpi l'elettrico vi è ritenuto dalla coibenza dell'aria; ma non di meno prosegue anche ivi ad essere animato dalla medesima forza di repulsione che tende a farlo sfuggire dal corpo; onde avviene che eserciti una continua pressione o *tensione*, come vien detta, sull'aria circostante. Sembra però che non sia totalmente per effetto della coibenza dell'aria che l'elettricità rimane alla superficie dei conduttori isolati, conciossiachè è oggi provato dai fisici che un conduttore può lungamente rimanere elettrizzato nel vuoto, sebbene con debolissima tensione.

A misura che in un corpo si accumula maggior copia di elettricità, lo strato superficiale della medesima anderà ingrossando, ovvero, conservando la stessa grossezza, aumenterà di densità; e poichè egli è indifferente ammettere l'una o l'altra di queste supposizioni, così egli è indifferente accennare alla *grossezza* o alla *densità* dello strato elettrico. È chiaro però che a misura che lo strato elettrico aumenterà alla superficie di un corpo, venendo a sommarsi tutte le forze repulsive delle sue parti, la sua tensione anderà aumentando in proporzione. Siffatta tensione si fa manifesta colla divergenza più o meno grande dei pendolini o delle pagliuzze di un elettroscopio situati a contatto o in prossimità del corpo elettrizzato: infine essa vince la resistenza dell'aria, allorquando l'elettricità esce dal conduttore sotto forma di scintilla.

Ma la elettricità che si raccoglie e si manifesta soltanto alla superficie dei conduttori isolati, ha dessa in tutti i punti la stessa tensione? A tale quesito ha risposto Coulomb, per mezzo della sua bilancia di torsione, e di un piccolo istrumento da lui chiamato *piano di prova*. Consiste il piano di prova in un piccolo disco metallico, fissato all'estremità di una bacchettina di gomma lacca: toccando col medesimo un punto di un conduttore isolato elettrizzato si sottrae da questo una porzione della sua elettricità. Coulomb riconobbe che tali sottrazioni sono proporzionali alla grossezza dello strato elettrico nel punto toccato, purchè il piano di

prova sia applicato tangenzialmente e levato perpendicolarmente alla superficie del corpo elettrizzato; talchè toccando con esso la superficie di un corpo elettrizzato nei suoi diversi punti, i rapporti delle tensioni ch'esso indicherà, daranno i rapporti delle grossezze dello strato elettrico o delle tensioni elettriche in questi stessi punti. La misura delle tensioni elettriche del piano di prova, vien data in ogni caso dalla bilancia di torsione. Ciò premesso, se col piano di prova sagghiamo i diversi punti di un conduttore isolato di forma sferica, è facile riconoscere che la grossezza dello strato elettrico, e quindi la tensione elettrica, sono ovunque eguali. In un disco la tensione si mantiene uniforme nel mezzo, ma verso gli orli rapidamente cresce. In generale la tensione elettrica cresce nelle parti sporgenti dei conduttori e scema nelle parti cave o rientranti, d'onde accade che quando due sfere si toccano e sono elettrizzate, nel punto di loro contatto si ha una tensione nulla, la quale va a mano a mano crescendo per divenir massima ai punti opposti; e se le sfere sono tre, in modo che la media sia molto piccola rispetto alle estreme, quella si trova allo stato naturale, mentre queste sono elettrizzate. In un ellissoide di rivoluzione la tensione è massima ai poli e minima all'equatore, e la differenza di tali tensioni aumenta in proporzione della differenza dei due assi. Per la qual cosa le *punte* potendosi considerare come poli di ellissoidi allungatissimi, ne segue che la tensione in esse debba riuscire grandissima, ancorchè poca sia la carica del conduttore di cui fan parte; per cui avviene che questa tensione vincendo l'ostacolo dell'aria, l'elettrico ne esce e prontamente riduce il conduttore allo stato naturale. Egli è per questa causa che armando un conduttore qualunque di una punta metallica aguzza, ed elettrizzandolo in modo continuo, non si giunge mai a scorgere per mezzo di un elettrometro, la tensione stessa che manifestava allorchè era privo di punta. Infatti una gran parte della elettricità fluisce dalla medesima, come avviene di un liquido in un vaso in cui siasi praticato un foro. Nella ipotesi dei due fluidi, le punte danno sempre uscita all'elettrico; ma in quella di un sol fluido, se le punte si trovano con tensione positiva emettono, e se hanno tensione

negativa assorbono l'elettricità. Facendo l'esperienza nell'oscurità si vede l'elettrico scorrere dalle punte, presentando fenomeni luminosi differenti a seconda della natura dell'elettricità.

L'efflusso della elettricità dalle punte può dar luogo a dei movimenti più o meno rapidi. Si prenda una *stelletta metallica*, formata da varie aste metalliche incrociate, e le cui estremità sieno incurvate tutte in un verso, e terminate da punte aguzze. Per mezzo di una piccola cavità situata nel suo centro si sospenda ad un pernio metallico unito ad un conduttore, e sul quale possa con facilità ruotare orizzontalmente. Finchè il conduttore non è elettrizzato, la stelletta rimane immobile; ma appena si elettrizza, essa comincia a ruotare con grande rapidità nel verso contrario a quello in cui esce l'elettricità dalle punte, ed operando all'oscuro tutte le punte della stelletta sono luminose. Potrebbe suppersi che tal movimento fosse dovuto alla stessa causa per la quale abbiamo già visto prodursi de' movimenti nello scolo de' liquidi e dei gas in circostanze analoghe, vale a dire dovesse attribuirsi alla *reazione* prodotta dall'efflusso dello elettrico; il quale perciò agisse nella guisa stessa dei fluidi ponderabili; ma un'esperienza di Aimè dimostra che non è questa la causa del fenomeno. Difatto, se si ricuopre la stelletta di uno strato di vernice coibente eccettuato nelle punte, e si elettrizza nel vuoto della macchina pneumatica, essa non concepisce verun movimento, quantunque l'elettricità esca dalle sue punte, come può scorgersi operando all'oscuro. Appena si fa rientrar l'aria nella campana la stelletta comincia a rotare. Poichè lo strato di vernice coibente che ricuopre la stelletta impedisce la dispersione dell'elettricità, che avverrebbe nel vuoto, è chiaro che l'efflusso deve accadere come nell'aria, e perciò dovrebbe esservi il movimento. Il fenomeno è dunque indubitamente dovuto alla repulsione che si produce fra le punte e l'aria da esse elettrizzata.

Chiamasi *capacità* dei conduttori per l'elettrico, la differente attitudine che hanno a contenere delle quantità più o meno grandi di elettricità. Dopo quanto abbiamo esposto intorno alla distribuzione dell'elettrico sui corpi conduttori sarà facile intendere come la loro capacità debba variare colla

estensione della loro superficie e colla loro figura, e come elettrizzando contemporaneamente più conduttori diversi fra loro, posti a contatto, essi debbano anche acquistare cariche differenti. Chiaro apparisce che la tensione di tali cariche sarà tanto minore quanto maggiore sarà la superficie dei conduttori; e se ai medesimi vorrà farsi acquistare la stessa tensione, sarà d'uopo separarli e comunicar loro delle quantità di elettricità proporzionali alle loro superfici. *La quantità di elettricità, o carica elettrica, è dunque in ragion composta della tensione che manifesta, e della capacità del conduttore.* Se un conduttore che è già provvisto di una certa carica, viene ad aumentare di capacità, è forza che la sua tensione diminuisca; ed al contrario al diminuire della sua capacità la sua tensione si farà maggiore. Ciò può facilmente provarsi con molte esperienze. Si abbia un conduttore formato da una serie di tubi che entrino l'uno nell'altro a guisa di quelli di un canocchiale, e al medesimo si comunichi una certa carica elettrica, la cui tensione sia resa manifesta dalla divergenza di un elettrometro o di un doppio pendolino applicato all'esterno dell'apparecchio. Per mezzo di un manico coibente, si estraggano gl'interni cilindri, facendo così acquistare al conduttore una superficie molto maggiore. Si vedranno tosto diminuire i segni della tensione; una sarà facile far loro riacquistare il primitivo grado, respingendo in dentro i conduttori. Può anche farsi l'esperienza con un cilindro d'ottone, su cui siasi avvolta una lunga lamina di stagnola, la quale possa svolgersi e distendersi mediante un manico di ceralacca. Franklin si serviva di un piatto metallico, su cui accumulava una lunga catenella metallica sostenuta da un fil di seta: svolgendo la catenella, la capacità del conduttore aumentava, e la sua tensione diminuiva. Gli esposti principj ci spiegano come le cariche elettriche si disperdano affatto nel suolo. Infatti la terra, rispetto agli altri conduttori, ha una capacità infinita; perciò le cariche elettriche comunque grandi, non debbono manifestare su di essa alcuna tensione.

La capacità per l'elettrico dipende non solo dall'estensione superficiale dei conduttori, ma pur anco dalla loro figura. Il Volta mostrò coll'esperienza che di due conduttori eguali in

superficie, ha sempre maggior capacità quello che più si estende in lunghezza. Così ad egualianza di superficie, una lamina quadrata di stagno, mostra colla stessa quantità di elettricità una tensione molto maggiore di un lungo cilindro dello stesso metallo. Parimente Volta osservò che avendo un cilindro lungo due piedi e grosso due pollici, si ottiene molto maggiore accrescimento di capacità quadruplicandone la lunghezza di quello che non si avrebbe quadruplicandone il diametro. Perciò i conduttori formati da cilindri grossi e corti non sono giammai molto capaci, mentre sono tali i lunghi e sottili, quando non eccedano un certo limite, in guisa da venire a costituire una specie di sistema di punte.

Vediamo ora come si distribuisce l'elettricità nei corpi coibenti. L'elettricità tende a distribuirsi su questi come sui conduttori; se non che si arresta allorchando la loro facoltà coibente vince la forza repulsiva per cui l'elettrico tende ad espandersi. Toccando una lastra di vetro o un piano di resina con un conduttore elettrizzato, l'elettricità non si diffonde che a piccola distanza dal punto toccato. Può ciò facilmente dimostrarsi versando sul piano coibente, in cui sonosi fatti dei segni invisibili col corpo elettrizzato, della polvere di zolfo che si fa sortire da un sottil velo di seta: essa raccogliasi tutta sui punti toccati rendendo visibili i segni tracciati. Ripetendo l'esperienza sopra un piano di legno o di altra materia conduttrice, il fenomeno non si produce, attesa la diffusione dell'elettricità su tutte le parti superficiali del conduttore. I diversi corpi coibenti, non posseggono in grado eguale la loro facoltà isolatrice. La coibenza come la conducibilità sono facoltà relative; per cui può dirsi che il corpo il più coibente possiede anch'esso, quantunque in debil grado, una certa conducibilità. Il vetro e la ceralacca, sebbene ottimi coibenti, lasciano disperdere una porzione dell'elettricità contenuta nei conduttori che son destinati ad isolare. L'elettricità si distende sui coibenti a distanze più o meno grandi, a seconda del grado della loro facoltà isolante, ed anche a seconda della carica elettrica. Quanto più questa è grande, tanto maggiormente si estende sul coibente; ma si può sempre dare ad un sostegno isolante, tal lunghezza, da isolare

del tutto una data carica. Coulomb ha dimostrato che la gomma lacca è il più perfetto isolatore che si conosca. Per isolare una data carica al di sopra di una pallina metallica basta un filo di gomma lacca che abbia una lunghezza dieci volte minore di quello di un fil di seta dello stesso diametro; il che dimostra che sulla seta l'elettricità si distende dieci volte più che sulla gomma lacca. Il vetro è anch'esso un buon coibente: ma i sostegni isolatori fatti con questa sostanza, disperdono alquanto l'elettricità a motivo di un velo o strato di acqua che si deposita sulla loro superficie; ed è perciò che di ordinario cotesti sostegni ricopronsi di uno strato di vernice di gomma lacca, la quale è assai meno igrometrica del vetro. Anche per l'aria si dissipa alquanto l'elettricità accumulata sui corpi. Egli è principalmente mediante l'umidità atmosferica che si opera questa dispersione. Infatti Coulomb ha dimostrato che per una data carica elettrica la perdita che un conduttore isolato subisce in un giorno di massima siccità sta alla perdita che subisce in un giorno di massima umidità come 20 a 70. Se si alita intorno ad un conduttore isolato elettrizzato, ben tosto si trova del tutto scarico. La rarefazione accresce pure la conducibilità dell'aria, ed ecco perchè girando attorno ad un conduttore elettrizzato con una candela accesa si vede tosto scaricarsi. Deve al certo attribuirsi a questa causa il vantaggio, spesse volte osservato, accendendo dei grandi fuochi di legna leggiere coll'intento di scaricare le nubi cariche di elettricità, e così dissipare i temporali.

Fenomeni d'influenza o d'induzione elettrica. — Dicesi *elettricità indotta* o *d'influenza* quella che si svolge nei conduttori per la semplice vicinanza di un corpo elettrizzato senza che alcuna elettricità si comunichi da questo a quelli. È facile dimostrare coll'esperienza questa nuova maniera di elettrizzare i corpi. *A* sia un conduttore isolato elettrizzato di elettricità positiva (*Tav. I, Fig. 5*) e *B* sia un altro conduttore parimente isolato, ma allo stato naturale, il quale sia posto ad una certa distanza dal primo, e sia fornito su tutta la sua lunghezza di varj pendolini doppi. Se la sua distanza dal primo è considerevole, i suoi pendolini non danno alcun

segno di elettricità; ma se gli si avvicina vedesi che giunto a breve distanza varj de'suoi pendolini divergono dando indizio di elettrizzazione. Ne è da credersi che ciò sia avvenuto per comunicazione, perocchè il fenomeno si produce anche quando s'interpone qualunque coibente tra i due conduttori; ed inoltre lo stato elettrico del conduttore *B* si distrugge tosto che questo si allontana dal conduttore *A*. Ma non tutti i punti del conduttore *B* sono egualmente elettrizzati dall'influsso dell'altro. Difatti si osserva che i pendolini che trovansi alle sue estremità *m* ed *n* divergono maggiormente dei pendolini elettrizzati che sono in *p*; ed anzi verso il mezzo del cilindro v'ha un punto, nel quale non v'è affatto divergenza. Anche per mezzo di un piano di prova si può acquistare la certezza di cotesta disuguale distribuzione dell'elettricità nel conduttore influenzato. L'osservazione adunque dimostra che un corpo elettrizzato per influenza possiede nei punti più prossimi al corpo elettrizzato induttore, e nei più lontani, la massima elettricità, mentre fra di essi ve ne sono degl'intermedj non elettrizzati, ai quali si giunge gradatamente partendo dalle estremità. Se poi si esplora la natura dell'elettricità che possiede il conduttore influenzato, si trova che all'estremità più prossima al corpo induttore, che abbiamo supposto elettrizzato positivamente, l'elettricità svoltasi è negativa, mentre all'estremità opposta è positiva. Le tensioni delle due elettricità vanno diminuendo verso la linea neutra posta nel mezzo. L'accennata esplorazione può farsi con un bastone di cera lacca confricato. In *m* esso respinge i pendolini, mentre in *n* li attira. Se il conduttore *A* fosse stato elettrizzato negativamente, si troverebbe elettricità positiva in *m* e negativa in *n*. In generale quella elettricità che si raccoglie per influenza nella parte più prossima al corpo induttore è sempre di natura contraria a quella di quest'ultimo; mentre l'elettricità che si raccoglie nella parte più lontana è sempre di natura eguale alla sua.

Un conduttore elettrizzato per influenza può agire come induttore sopra un altro postogli in vicinanza, verificandosi sempre la medesima distribuzione dell'elettricità sul conduttore nuovamente influenzato.

Degli esposti fenomeni è facile rendersi ragione sia colla teoria simmieriana, sia con quella di Franklin. Nella prima si ammette che la elettricità del corpo induttore decomponga una parte del fluido neutro dell'indotto, chiamando verso di sé il fluido contrario, e respingendo nella parte opposta l'omologo. Allorquando cessa l'induzione i due fluidi ricombinansi per costituire di nuovo il fluido neutro, ed il corpo influenzato riprende lo stato naturale. Nella teoria di Franklin, se il corpo induttore è elettrizzato positivamente, la sua influenza sull'altro si riduce ad uno spostamento del fluido naturale di questo verso la parte più lontana che si elettrizza perciò positivamente, restando negativamente elettrizzata la parte più prossima; e se invece l'induttore è elettrizzato negativamente lo spostamento indicato avviene nel verso contrario; vale a dire l'accumulazione del fluido naturale del corpo indotto avviene nell'estremità più vicina all'induttore.

Lo stato elettrico prodotto nei corpi per influenza può distruggersi in due modi diversi, vale a dire lentamente, ovvero in un solo istante. Si ottiene un lento ritorno allo stato naturale di un corpo elettrizzato per influenza, allontanandolo dall'induttore; ed infatti i segni di tensione che manifestava si veggono sparire a poco a poco; mentre ottiensì rapido ed istantaneo, scaricando subitamente l'induttore coll'accostarvi un dito od altro conduttore, in guisa da trarne una scintilla. In quest'ultimo caso, i segni di tensione del conduttore influenzato spariscono istantaneamente, e i suoi doppj pendolini richiudonsi ad un tratto tutti insieme. Questa rapida scarica, o come vuol dirsi, questo rapido passaggio di elettricità attraverso il corpo indotto, produce un'alterazione ed uno scuotimento analoghi a quelli che risentono i corpi che vengono direttamente investiti da una scarica elettrica, o sui quali, come si dice, si scarica l'elettrico. Nel caso dei corpi elettrizzati per influenza, la scarica, non essendo diretta, prende il nome di *contraccolpo*. Ma avremo luogo di tornare a trattare di queste scariche.

Sin qui abbiamo supposto che il conduttore soggetto all'influenza elettrica non fosse in comunicazione col suolo; vediamo ora ciò che avviene allorquando vi comunica. Se mentre il conduttore isolato *B* delle precedenti esperienze, è elet-

trizzato per influenza dall'altro *A*, vien toccato con un dito o con un altro conduttore in uno dei punti in cui è raccolta l'elettricità respinta dall'induttore, e quindi viene allontanato da questo, si osserva che da esso è sfuggita tutta l'elettricità omologa a quella dell'induttore e che è invece rimasto carico della contraria. Ma per ottenere questo effetto non è già necessario toccarlo nei punti più lontani dall'induttore; basta a ciò mettere in comunicazione col suolo qualunque punto di esso, sia pure il più vicino all'induttore. In ogni caso è sempre l'elettricità omologa quella che è respinta nel suolo, e la contraria è ritenuta. Il qual fenomeno facilmente s'intende, riflettendo che quando si mette il conduttore influenzato con un suo punto qualunque in comunicazione col suolo, ciò equivale a farne un sol conduttore colla terra; e poichè per le leggi dell'influenza elettrica, l'elettricità omologa a quella dell'induttore vien respinta nella parte più lontana del corpo indotto, ne avviene che tutta questa elettricità respinta si diffonde sulla immensa superficie della terra, ove la sua tensione diviene insensibile. Frattanto è da osservarsi come l'esposto fenomeno ci somministri un mezzo per aver libera e separata una delle due elettricità sviluppate per influenza.

Il fenomeno dell'influenza elettrica è di una grande generalità. Anche i primi fatti di elettricità da noi citati, vale a dire quelli dell'attrazione dei corpi leggieri dalle sostanze elettrizzate, ne dipendono. Infatti se non v'ha corpo elettrizzato che non agisca per influenza su quelli che lo circondano; egli è evidente che la prima azione che il medesimo spiega sui piccoli corpi che attrae è un'azione d'influenza; e l'attrazione che poi si sviluppa fra di essi avviene fra le due contrarie elettricità. Ed è ciò così vero, che l'attrazione cessa o si fa malamente sui piccoli corpi coibenti, imperciocchè difficilmente può scorrere su di essi l'elettricità per accumularsi in una delle loro parti. Se prendonsi due pendolini a fil di seta, formati l'uno da una pallina di ceralacca, l'altro da una pallina eguale di ceralacca dorata alla superficie; il primo non è attratto da un corpo elettrizzato, mentre l'altro lo è con facilità.

È pure all'influenza elettrica che debbonsi i segni degli elettroscopj. Allorquando si accosta ad una certa distanza un

corpo elettrizzato alla pallina di un elettroscopio, veggonsi aprire le sue due paglie o foglie di oro. Questa divergenza è dovuta alla elettricità omologa a quella del corpo, la quale per induzione è respinta nella parte più lontana del conduttore influenzato. Se mentre questa divergenza sussiste, si tocca con un dito la pallina dell'elettroscopio, i segni di tensione spariscono; ma se poscia si allontana il dito ed il corpo induttore, questi segni ricompariscono, e sono al certo prodotti dall'elettricità contraria a quella del corpo induttore, la quale riman libera sulla pallina e sulle foglie dell'elettroscopio. Se allora si accosterà all'istrumento un nuovo corpo elettrizzato, se il medesimo possederà la stessa elettricità indicata da quello, la divergenza aumenterà perchè la nuova induzione spinge sulle foglie dell'elettroscopio nuova elettricità della stessa specie della prima; se invece sarà elettrizzato di elettricità contraria, la divergenza diminuirà od anche cesserà, perchè vi sarà parziale o totale neutralizzazione fra il primitivo stato elettrico delle foglie ed il nuovo prodotto dall'influenza. Non dimeno la diminuzione della divergenza delle foglie di un'elettroscopio può essere anche prodotta dall'avvicinamento di un corpo allo stato naturale, perchè il medesimo, essendo influenzato dall'elettricità dell'elettroscopio, richiamerebbe questa nella parte più vicina a sè, e la divergenza delle foglie diminuirebbe. Perciò l'interpretazione dei segni degli elettroscopi è cosa molto delicata e richiede grande attenzione. Nondimeno si può stabilire che l'aumento della divergenza è un segno sicuro di elettricità omologa a quella dell'istrumento, mentre la diminuzione della divergenza non è sempre indizio di elettricità contraria, a meno che dessa non sia oltremodo grande ed anche cessi del tutto per ricomparire in seguito ad un maggiore avvicinamento del corpo elettrizzato, prodotta da un'elettricità contraria. Onde eseguire queste esperienze comparative cogli elettroscopi è necessario disseccare completamente l'aria che contengono per mezzo di corpi igrometrici. Si accresce anche la sensibilità di questi istrumenti aggiungendo due colonnette metalliche *a* e *b* a poca distanza dalle foglie, e nello stesso piano in cui divergono (*Tav. 1, Fig. 6*). Le medesime elettrizzandosi per

influenza, accrescono la divergenza delle foglie; e di più servono a scaricarle quando giungono in contatto loro.

Sugli esposti principj dell'induzione elettrica è fondata la costruzione di quei congegni destinati a raccogliere considerevoli quantità di elettricità svolta per confricazione. Son dessi conosciuti col nome di

Macchine Elettriche. Una macchiua elettrica è essenzialmente composta di un corpo strofinante, di un corpo strofinato e di un conduttore isolato. Ottone di Guericke, l'inventore della macchina pneumatica, fu pure l'inventore della macchina elettrica. Nel primo apparecchio ch'egli costruì, il corpo strofinato consisteva in un globo di zolfo montato sopra un asse orizzontale a cui poteva imprimersi un rapido movimento di rotazione; il corpo confricante era la mano, che doveva tenersi applicata sulla superficie del globo. A questo globo di zolfo fu poscia sostituito un globo o un cilindro di vetro, ed alla mano furono sostituiti dei cuscini di pelle. Nelle odierne macchine elettriche il corpo strofinato è ordinariamente un disco di vetro mobile intorno al suo asse mercè un manubrio; da corpo strofinante fanno comunemente quattro cuscini di pelle ripieni di crini e spalmati di un'amalgama di zinco e stagno ovvero di quel solfuro di stagno che dicesi *oro musico*; ed infine il conduttore consiste in uno o più cilindri di ottone sostenuti da colonne di vetro, forniti di punte a piccola distanza dal disco, le quali soglionsi distribuire in modo da presentare quattro pettini, due nella parte anteriore e due nella parte posteriore del disco.

La macchina rappresentata nella *Fig. 7, Tav. I*, è fornita di due conduttori *ff'* congiunti con una traversa *g*, sulla quale si pone l'elettrometro a quadrante: questi conduttori sono sostenuti ed isolati dalle colonne di vetro *h*, e terminano con due *mascelle* *i* fornite di punte, le quali comprendono il margine del disco *a*, alle estremità del suo diametro orizzontale. I quattro cuscini *x* sono fissati al cavalletto di legno *d*, che è solidamente impiantato sul tavolino che sostiene tutta la macchina. Attraverso questo cavalletto passa l'asse del disco fornito del manubrio *b*.

Ciò posto, ecco come si dà ragione della elettricità positiva che si raccoglie sul conduttore di queste macchine, secondo

le due ipotesi che abbiamo sopra accennate. Nella ipotesi di Symmer i cuscini della macchina prendono l'elettricità negativa o resinosa, e il disco la positiva o vitrea; ma i cuscini essendo in comunicazione col suolo, imperocchè il cavalletto che li sostiene non è isolato, tornano allo stato naturale, e resta il disco carico di elettricità positiva; ed il medesimo operando per influsso sul conduttore isolato ne decompone il fluido neutro, richiamando il resinoso nella parte anteriore, ove sono le punte, le quali non potendo trattenerlo lo lasciano fluire sulla superficie del disco, ove si unisce al fluido vitreo che vi s'è raccolto, riconducendo il disco allo stato naturale. Perciò il conduttore, che per le punte ha perduto l'elettricità negativa, deve restare carico di elettricità positiva. Nella teoria di Franklin i cuscini perdono elettricità, il disco di vetro ne acquista; perciò i primi si elettrizzano negativamente, il secondo positivamente; ma i cuscini essendo in comunicazione col suolo, prendono da questo tanta elettricità quanta ne han data al disco, e si rimettono allo stato naturale. Il disco intanto per l'acquistata elettricità positiva opera per influsso sul conduttore isolato, accumulando il fluido naturale di questo nella sua parte più lontana; intanto le punte elettrizzate negativamente per deficienza di elettricità assorbono quella eccedente del disco portandola sul conduttore, il quale poichè aggiunge alla sua naturale elettricità questa che dal disco gli viene per le punte sarà positivamente elettrizzato.

La macchina elettrica che abbiamo descritta, è atta solo a dare elettricità positiva; ma è chiaro che se si mettesse un conduttore in comunicazione co' cuscini, essendo questi isolati, esso si elettrizzerebbe negativamente. Perciò isolando la macchina sopra zoccoli di vetro, facendo il manubrio di vetro, ovvero isolando l'operatore, facendo comunicare col suolo l'ordinario conduttore; e disponendone un altro isolato in modo che possa prendere l'elettricità dei cuscini, si ha una macchina che fornisce elettricità negativa. Si aggiungono talvolta alla macchina elettrica dei *conduttori secondarj*, consistenti in lunghi cilindri di ottone o di latta disposti a rettangolo e sospesi al soffitto mediante delle corde di seta. Ponendo questi conduttori in comunicazione con quello della macchi-

ca, l'intero sistema si carica di elettricità, ed essendo così aumentata la capacità della macchina, si accumula su di essa una quantità assai più considerevole di elettricità, e se ne possono trarre delle scintille più grosse.

Van Marum immaginò una macchina elettrica disposta in guisa da somministrare a volontà l'elettricità positiva o la negativa, vale a dire quella del disco o quella dei cuscini. In questa macchina le due paja di cuscini sono disposte sopra un diametro orizzontale (*Tav. I, Fig. 8*) e sostenute da degli emisferi di ottone $z z'$. I conduttori consistono in due archi mobili $x x'$ e $y y'$, i quali debbono sempre rimanere in piani perpendicolari tra loro. Quando l'arco $x x'$ è verticale, l'altro $y y'$ è orizzontale; questo comunica coi cuscini e fa passare la loro elettricità nel suolo, mentre l'arco $x x'$ ed il globo g , si caricano di elettricità positiva. Al contrario, quando $x x'$ è orizzontale $y y'$ è verticale, comunica col disco e fa passare la sua elettricità nel suolo, mentre $x x'$ raccoglie la elettricità dei cuscini la quale si sponde sul globo g e sugli emisferi $z z'$.

La macchina di Narne, rappresentata dalla Figura 9, Tavola I, è pure disposta per dare le due elettricità; ma le fornisce simultaneamente su due conduttori differenti v ed r . Il corpo confricato consiste in un gran cilindro di vetro a , mobile intorno un un asse orizzontale b , ed è strofinato nel verso della sua lunghezza da un solo cuscino c : l'elettricità svolta dal vetro elettrizza positivamente il conduttore v , e quella del cuscino elettrizza negativamente il conduttore r .

Per mezzo delle macchine elettriche possono in modo più grandioso costatarsi molte delle proprietà dei corpi rispetto all'elettricità. Così si suol mostrare, che un corpo qualunque buon conduttore, fosse anche una persona, può totalmente caricarsi di elettricità, allorquando si pone in comunicazione colla macchina sopra un piano isolatore qualunque. Si suole a tal uopo fare uso del così detto *sgabello elettrico*, consistente in uno sgabello di legno con piedi di vetro, sul quale si fa salire la persona che vuole elettrizzarsi, e che deve porsi in comunicazione col conduttore della macchina per mezzo di una catenella metallica, ovvero anco mediante

la mano. Facendo agire la macchina, tutto il corpo della persona isolata si carica di elettricità, ed è facile trarre delle scintille da qualunque parte di esso; i capelli si raddrizzano e si dirigono verso i corpi che loro vengono avvicinati. Allorquando si avvicina il dorso della mano al disco o al conduttore della macchina elettrica, mentre è in azione, si sente come una specie di venticello, che dicesi *aura elettrica*, la quale dipende dalla repulsione cui va soggetta l'aria che trovasi a contatto delle parti elettrizzate della macchina.

Dissimulazione dell'elettricità. Immaginiamo due dischi conduttori *A, B* (Tav. I, Fig. 10) posti in presenza e separati da una lamina non conduttrice *MN* di vetro o di resina; quando il disco *A* riceve, per esempio, della elettricità positiva, e il disco *B* della negativa, queste due elettricità si attirano attraverso la lamina non conduttrice *MN*, e ne premono le opposte facce collo sforzo che fanno per ricombinarsi. In tali circostanze se i due dischi sono provvisti di pendolini doppi o di altri indicatori della tensione elettrica, questi danno solo deboli segni di elettricità, perchè le due cariche richiamate dalla loro reciproca attrazione nelle parti più prossime dei due dischi, si occultano mutuamente. Si dice allora che le due elettricità sono *dissimulate*. Non solo i due dischi danno appena indizio di tensione, ma possono anche essere toccati *separatamente* senza che si scarichino. Ciò avviene anche quando sono accumulate sui due dischi le più forti cariche elettriche. Supponiamo che i due dischi sieno matematicamente della stessa forma e grandezza, che la lamina *MN* sia egualmente piana sulle sue due facce e da per tutto della stessa grossezza; e che la macchina o la sorgente qualunque che dà della elettricità positiva al disco *A*, sia esattamente della stessa forza di quella che dà dell'elettricità negativa al disco *B*, in guisa che tutto sia simmetrico dalle due parti del piano che passa in mezzo allo strato *MN*: allora è evidente che i due dischi avranno sempre delle cariche eguali, e che nei punti simmetricamente posti su ciascuno di essi, le grossezze o le tensioni elettriche saranno anche sempre le stesse. Ciò posto, ecco un principio fondamentale dell'elettricità dissimulata; ed è che dopo aver dato all'apparecchio una carica

qualunque ed averlo quindi isolato, accade sempre che la *dissimulazione è incompleta*, vale a dire che non esiste alcun punto sui dischi in cui la tensione elettrica sia affatto nulla. Questa tensione è grandissima sulle facce interne, e quivi quando le superfici hanno sufficiente estensione, i fluidi possono premere la lamina *MN* con tanta forza da aprirsi un passaggio attraverso la sua sostanza, forandola per riunirsi; chè se questa lamina è di resina o di zolfo, vi si fanno un gran numero di piccole fessiture appena discernibili, mentre se è di vetro sottile, vi si forma un sol foro, attraverso il quale le due elettricità si precipitano con fragore per riunirsi. Sulle facce esterne, la tensione elettrica che si esercita contro l'aria è debolissima in confronto della interna, ma non di meno esiste, com'è possibile assicurarsene col piano di prova, od anche presentando la giuntura di un dito, successivamente ad ogni disco, perchè se ne traggono delle piccole scintille. La dissimulazione non può esser completa, conciosiachè le elettricità accumulate per la maggior parte sulle facce interne restano tuttavolta separate dalla grossezza della lamina non conduttrice *MN*, mentre è solo col perfetto contatto che può accadere la loro neutralizzazione. Perciò la dissimulazione è tanto più perfetta quanto più sottile è la lamina coibente; ma frattanto quanto più sottile è la lamina, tanto minor resistenza offre alla pressione delle due elettricità. Da ciò nasce un limite all'accumulazione dell'elettrico. L'apparecchio essendo caricato nel modo da noi esposto, le elettricità dissimulate possono ricomporsi subitamente o lentamente: subitamente, ponendo in comunicazione i due dischi mediante un corpo conduttore qualunque; lentamente, toccando successivamente prima l'uno, quindi l'altro disco. Ad ogni contatto si porta via una piccola quantità di elettricità del disco che si tocca, cosicchè gli si toglie una porzione di forza attrattiva che esercitavasi sull'altro piatto, per cui questo dà segno di maggior tensione; ma se allora a sua volta si tocca anche il medesimo, l'accresciuta tensione sparisce per ricomparire ad un nuovo contatto dell'altro. Questi fenomeni si riproducono successivamente, fintanto che per una serie di ripetuti contatti tutto l'apparecchio non si è scaricato.

Noi abbiamo fin qui supposto che i dischi fossero caricati, l'uno da una sorgente di elettricità negativa, l'altro da una sorgente di elettricità positiva, e che ne ricevessero quantità eguali; ma ciò non è necessario per la dissimulazione delle cariche, bastando anche una sola sorgente di elettricità a produrre tale effetto. Allora si pone uno dei dischi in comunicazione colla sorgente e l'altro in comunicazione col suolo: quest'ultimo si carica tosto per influenza facendo passare nel suolo l'elettricità omologa a quella della sorgente, e intanto sopra le facce più prossime dei due dischi accade l'accumulazione e la dissimulazione delle due cariche opposte; l'aumento delle quali da altro non è limitato che dalla resistenza dello strato coibente interposto ai dischi.

Gli apparecchi fondati sopra gli esposti principj e destinati ad accumulare quantità più o meno grandi di elettricità dissimulate o *latenti*, hanno il nome generico di *condensatori*; ma di questi ve ne ha molte specie.

Il *condensatore di taffetà ingommato* è formato di due parti, vale a dire di un piatto di legno coperto con taffetà ingommato, e di un disco metallico munito di un mauico isolatore. Il disco metallico posto in comunicazione con una sorgente elettrica si carica di elettricità che si spande su tutta la sua superficie, e a traverso del taffetà agisce per influenza sul piatto di legno che deve comunicare col terreno, e l'apparecchio si carica proporzionalmente alla tensione della sorgente che gli fornisce il fluido. Quindi sollevando il piatto metallico, trovasi carico di un'elettricità molto intensa e della stessa specie di quella della sorgente. Il taffetà ingommato essendo sottilissimo rende facile l'azione dell'influenza, cosicchè l'apparecchio è utile per raccogliere l'elettricità che abbia poca tensione. Il Volta adattò il condensatore all'elettroscopio a foglie d'oro, ed ottenne un apparecchio atto a raccogliere ed a rendere sensibili debolissime cariche elettriche, il quale è noto nella scienza col nome di *Condensatore a foglie di oro*. L'asta di ottone che porta le foglie d'oro dell'elettroscopio, invece di essere terminata nella parte superiore da una sfera di ottone, sostiene un disco metallico sul quale si colloca un pezzo di taffetà ingommato (*Tav. I, Fig. 11*)

alquanto più grande del disco e destinato ad isolare quest'ultimo da un secondo disco affatto simile, ma a manico di vetro, che si appoggia sul primo. Per rendere sensibili con questo apparecchio delle quantità anche minime di elettricità in un corpo, si fa comunicare quest'ultimo col disco superiore, che ha perciò il nome di disco *collettore*, e si mette l'altro disco in comunicazione col suolo toccandolo col dito leggermente bagnato (*Tav. I, Fig. 12*). L'elettricità del corpo sottoposto all'esperimento si diffonde allora sul disco collettore, agisce per influenza attraverso del taffetà sul secondo disco e sulla mano, per respingere nel suolo l'elettricità dello stesso nome ed attrarre quella di nome contrario. I due fluidi si accumulano quindi sui due dischi, ma senza che succeda divergenza nelle foglie d'oro, perchè v'ha dissimulazione delle due elettricità. Essendo l'apparecchio così caricato, si allontana dapprima il dito, indi la sorgente di elettricità, senza che si produca alcuna divergenza; ma sollevando il piatto superiore (*Tav. I, Fig. 11*) la dissimulazione cessa, l'elettricità del secondo disco si distribuisce equabilmente sull'asta e sulle foglie d'oro, e quindi quest'ultime divergono assai. Si aumenta la sensibilità dell'apparato sopprimendo il pezzo di taffetà e separando i due dischi soltanto con uno strato sottilissimo di vernice di gomma lacca che vi si stende sopra. Inoltre è più conveniente prendere per piatto collettore il disco inferiore, perchè il disco che comunica colla sorgente è quello che si carica di più.

Quando si vogliono condensare grandi quantità di elettricità ricorrendo a forti sorgenti, convien tenere separati i due dischi metallici per mezzo di un grosso strato coibente. Si hanno allora quei famosi condensatori conosciuti coi nomi di *Quadro elettrico* e di *bottiglia di Leida*.

Il *quadro elettrico* consiste in una lastra di vetro, sulle facce opposte della quale sono incollate due lamine di stagnola, in modo che terminino a poca distanza dai margini della lastra, i quali affinchè sieno maggiormente coibenti sono ricoperti da uno strato di vernice di gomma lacca. Per caricare questo condensatore si presenta una delle lamine di stagnola alla macchina elettrica, e si fa comunicar l'altra col suolo mediante la mano.

La *bottiglia di Leida* consiste in un vaso di vetro rivestito all'esterno da una foglia metallica, che è ordinariamente stagnola, fino ad una certa distanza dai bordi; l'interno è pure rivestito della stessa foglia metallica, ovvero ripieno di sostanze conduttrici, come ritagli di stagnola, foglie d'oro, munizione di piombo ec., dal mezzo delle quali s'innalza, traversando un turacciolo, un'asta metallica terminata da una palla della stessa materia. I margini superiori della boccia, come pure il turacciolo debbono essere accuratamente rivestiti di uno strato assai denso di vernice coibente. Del resto la forma che si dà a questo apparato è variabile, essendo ora formato da una vera bottiglia (*Tav. I, Fig. 13*) ed ora da un vaso a largo collo (*Tav. I, Fig. 14*). Le materie conduttrici interne insieme all'asta metallica ed al suo *bottono*, costituiscono l'*armatura interna* dell'apparato, mentre la lamina di stagnola che ricuopre la bottiglia al di fuori, forma l'*armatura esterna*. Per caricare la bottiglia si tiene in mano per l'armatura esterna e si mette in comunicazione il suo bottone col conduttore della macchina, sia a contatto, sia ad una piccola distanza per vedere scoccare le scintille, le quali in principio si succedono rapidamente, quindi rallentansi sempre più, fino a sparire affatto, indicando così il grado della carica. È facile interpretare ciò che avviene in tali circostanze. L'armatura interna si è da prima caricata ad equilibrio di tensione col conduttore, secondo la propria capacità; ma questa elettricità operando per influsso attraverso il vetro sull'armatura esterna, ha richiamato sulla faccia di questa, che è a contatto del vetro, l'elettricità contraria, mentre ha respinto sull'altra faccia l'elettricità omologa; e poichè l'armatura esterna comunicava col suolo mediante il corpo dell'operatore, è rimasta in essa soltanto l'elettricità contraria, e quindi è accaduta la dissimulazione: per tal modo l'armatura interna ha ricevuto nuova elettricità dal conduttore della macchina, la quale ha promosso nuova influenza e quindi nuova dissimulazione; e così è accaduto successivamente, fino a che l'armatura interna, oltre all'elettricità dissimulata, si è trovata possedere una tensione da fare equilibrio a quella del conduttore della macchina. Ma se le pareti della boccia fos-

sero molto sottili, le due cariche contrarie accumulate sulle armature potrebbero traversarle, per combinarsi ed operare la rottura del vetro in qualche punto.

È manifesto che la bottiglia di Leida può anche caricarsi tenendo in mano la sua armatura interna, ossia la verga metallica della medesima, ed accostando al conduttore della macchina l'armatura esterna. Allora l'accumulazione delle due cariche avviene per versi contrarj.

Dopo quanto abbiamo esposto apparirà chiaramente che se si isola la boccia di Leida, vale a dire se non si fa comunicare la sua armatura esterna col suolo, essa si caricherà appena, perocchè senza la dissimulazione non si può accrescere la sua capacità. E perciò accostandola in tali circostanze così isolata al conduttore della macchina, se l'aria sarà secca, si vedranno scoccare dal medesimo sul bottone della boccia poche scintille.

Volendo conoscere la carica di un coibente armato conviene determinare la tensione di essa, e la capacità del coibente. La tensione può essere indicata da un elettrometro posto in comunicazione coll'armatura interna; la capacità si giudica dal numero delle scintille scoccate dal conduttore per produrre una determinata tensione. Così, la capacità di un dato coibente armato sarà doppia di quella di un altro, quando avrà d'uopo di un numero doppio di scintille elettriche per indicare la stessa tensione.

La capacità dei coibenti armati dipende dall'estensione delle armature. Perciò, onde accumulare delle grandi quantità di elettrico si possono usare delle enormi boccie di Leida, ovvero se ne possono riunire varie delle piccole, in modo che le loro armature comunichino e formino un solo apparecchio. In quest'ultimo caso si ottiene ciò che dicesi una *batteria elettrica* (*Tav. I, Fig. 15*). Tutte le bottiglie di una batteria sono riunite in una specie di scatola vestita internamente di una foglia di stagnola, la quale comunica col suolo mediante una catenella metallica; tutte le armature interne comunicano insieme per mezzo di verghe metalliche; e quindi possono contemporaneamente mettersi in comunicazione col conduttore della macchina elettrica.

La carica di un coibente armato, ovvero di una batteria elettrica, non può mai oltrepassare certi limiti, i quali dipendono dalle perdite continue della elettricità accumulata, che avvengono sia per il contatto dell'aria, sia per le scariche parziali che si producono lungo il coibente fra le due armature, e che sono tanto più considerevoli, quanto più intensa è la carica. Quando una boccia è carica a saturazione, essa produce un certo stridore che è prodotto dal continuo e lento scaricarsi dell'elettricità dell'armatura interna sopra l'esterna. Ammesse anche tutte le circostanze idonee ad impedire queste perdite, come sarebbero una perfetta siccità dell'ambiente ed un'ottima verniciatura della porzione nuda del coibente, la carica non potrebbe giammai essere indefinita; conciossiachè si giungerebbe ad un punto in cui le tensioni diverrebbero così forti da produrre la scarica attraverso la grossezza del coibente, e col traforamento di questo.

A fine d'impedire in gran parte la dispersione dell'elettricità, che nelle bottiglie di Leida avviene per la vicinanza delle armature tra loro, il fisico Cavallo immaginò di chiudere nel collo della bottiglia un tubo di vetro che giungesse sino al suo fondo, e lo vesti internamente di stagnola solo nella sua metà inferiore; fece terminare esternamente la verga metallica colla solita pallina e la fissò nel tubo, ma in modo che non giungesse a toccare la stagnola. Entro il tubo pose un filo di metallo libero che toccasse l'armatura interna; ma non assai lungo da giungere a toccare l'estremità della verga metallica. Volendo caricare una di queste bocce, pigliasi colla mano e si capovolge; in questa guisa il filo metallico chiuso nel tubo scende, va a toccare la verga metallica, e stabilisce così la comunicazione coll'interno. Rimettendo poi la boccia nella sua posizione naturale, il filo metallico ricade nel fondo del tubo, e la verga rimane separata per un lungo tratto di vetro dall'armatura interna. Così la sua elettricità può difficilmente dissiparsi e scorrere, come fa nelle bocce ordinarie, sulla superficie del coibente per mezzo della verga, dall'armatura interna all'esterna.

Le perdite cui vanno soggetti i coibenti armati, per essere tanto più grandi, quanto maggiori sono le tensioni delle ca-

riche, impediscono di poter caricare delle forti batterie con deboli macchine elettriche. Infatti si giunge ad un punto in cui la quantità di elettricità che si dissipa da ciascuna boccia è eguale alla quantità di elettricità che ad ogn'istante le viene comunicata dalla macchina, ed allora evidentemente la carica non aumenta. Ma se la macchina elettrica sarà molto potente, si giungerà molto più difficilmente a questo punto di equilibrio, ed intanto la batteria avrà luogo di acquistare una grande carica.

Si può nondimeno con un particolare artificio caricare anche una batteria di molte bottiglie, mediante una macchina non molto forte. Si adatta allora un uncino metallico al fondo dell'armatura esterna di ogni boccia, e si sospende la prima boccia al conduttore della macchina colla sua armatura interna, come indica la figura 16, Tav. I; la seconda boccia si sospende coll'uncino della sua armatura interna all'uncino dell'armatura esterna della prima boccia, e così di seguito fino all'ultima, di cui l'armatura esterna si fa comunicare col suolo. Facendo agire la macchina, l'armatura interna della prima boccia si carica di elettricità positiva, e respinge dall'armatura esterna altra elettricità positiva, che entra nell'armatura interna della seconda bottiglia, e la carica, e così di seguito. Questa maniera di caricare le bottiglie, fu immaginata dal Franklin e dicesi per *cariche conseguenti*. Egli è certo però che le diverse bottiglie non contengono le stesse quantità di elettricità, e che le loro cariche decrescono progressivamente dalla prima verso l'ultima; imperocchè la carica prodotta per influenza è sempre minore della inducente, ed è inoltre impossibile che una porzione della elettricità che da una boccia è spinta nell'altra non si disperda.

Quando si vuole scaricare un coibente armato o una batteria si adopra un arco metallico terminato con due palline, e si dispone in modo che una delle sue estremità tocchi l'armatura esterna, e l'altra si accosti ad un punto qualunque dell'armatura interna. Si vede allora balenare una scintilla più o meno grossa a seconda della carica, accompagnata da un certo fragore. Di ordinario l'arco metallico che si adopra a quest'uso è articolato per allontanarne più o meno le estre-

mità, ed è fornito di uno o due manichi di vetro verniciato. In questo modo aggiustato prende il nome di *scaricatore* (*Tav. I, Fig. 17*). La boccia di Leida può anche scaricarsi lentamente mediante successivi contatti colle due armature, nel modo stesso che indicammo parlando del condensatore. Ad ogni contatto si trae dalla boccia una piccola scintilla. È anzi fondata sopra questa maniera lenta di scaricarla, una graziosa esperienza che suol ripetersi nei corsi. Consiste nel porre una boccia di Leida caricata, sopra un piano di legno sostenuto da quattro piedi di vetro (*Tav. I, Fig. 18*), sul quale s'innalza una colonna metallica che comunica coll'armatura esterna della bottiglia, e termina allo stesso livello della verga della armatura interna. Tanto questa verga, quanto la colonna metallica portano alla stessa altezza una callotta di bronzo. Una pallina metallica sospesa ad un filo di seta vien posta in mezzo a queste due callotte cariche delle elettricità contrarie delle due armature. Essa è tosto costretta ad oscillare fra le medesime; ed urtando successivamente l'una e l'altra produce uno scampanio che dura più o meno lungamente a seconda della carica della boccia e della siccità dell'aria. Infine si può scaricare lentamente la bottiglia di Leida anche in un'altra maniera, vale a dire munendo l'arco scaricatore di due punte, ed accostando le medesime alle due armature. Questa scarica avviene senza scintilla ed in silenzio; e solo operando al bujo vedesi la traccia luminosa dell'elettricità nel suo passaggio dalle punte.

Allorquando si abbandona a sè stessa sopra un buon isolatore una bottiglia di Leida fornita di elettrometro, si osserva che la medesima mostra dopo breve tempo di scaricarsi anche quando l'aria è molto asciutta, conciossiachè il suo elettrometro non dà più indizio di tensione. Ma se accostiamo lo scaricatore alle sue armature, la forte scarica che se ne ottiene ci persuade che l'elettricità non si era dissipata che apparentemente. Inoltre se dopo l'ottenuta scarica riponiamo rapidamente la bottiglia sull'isolatore vediamo che lo elettrometro dà nuovi indizj di tensione, segno manifesto che la boccia non si è del tutto scaricata. Ed infatti riaccostando lo scaricatore alle sue armature, se ne ottiene una seconda sca-

rica, ma invero assai più piccola della precedente. Spesso avviene che se ne possa trarre anche una terza ed una quarta; ed in generale si osserva che non si riesce mai a scaricare tutto in una volta un coibente armato, e che le grandi bottiglie richiedono anche molti successivi contatti dello scaricatore. Questi fenomeni, detti di *occultamento delle cariche*, dipendono da ciò che nei coibenti armati le cariche non si accumulano soltanto sulle armature, ma si spandono e s'internano anche nella grossezza del coibente senza riunirsi, ed anzi ivi specialmente si accumulano. L'esperienza diretta lo dimostra nel modo il più evidente. Si abbia una bottiglia di Leida (*Tav. I, Fig. 19*), di cui le armature *a* e *c* sieno mobili e facili a separarsi dal coibente. Si carichi fortemente colla macchina elettrica, quindi si ponga sopra un desco isolatore di resina, e colla mano si tolga l'armatura interna della bottiglia e quindi l'esterna, e si pongano le due armature fra loro a contatto, ovvero a contatto col suolo. È chiaro che in questa guisa operando, se le cariche elettriche fossero rimaste sulle armature, le avremmo certamente ricondotte allo stato naturale. Tuttavia se ricomponiamo la bottiglia, riponendo in sito le sue armature, ed accostiamo alle medesime i rami dello scaricatore, ne otteniamo una grossa scintilla. È dunque manifesto che le due elettricità dissimulate, obbedendo alla reciproca loro attrazione, abbandonano in gran parte le armature per portarsi sulle due facce del vetro. Perciò l'ufficio delle armature, si è principalmente quello di servire a caricare il coibente; giacchè è evidente che senza di esse non potrebbe accumularsi la minima carica elettrica sopra le due facce di una bottiglia di vetro, essendoci noto che l'elettricità non si propaga sui coibenti che a piccola distanza dal punto toccato. È del pari manifesto che senza le armature non potrebbe ottenersi la scarica.

V'ha anche un altro istrumento, fondato sui principj dell'elettricità dissimulata, ed è questo *l'elettroforo* immaginato dal Volta. Consiste in un piatto metallico circolare fornito di un orlo, e contenente un disco resinoso formato ordinariamente di tre parti di trementina, due di pece greca, ed una di cera. Esso forma il pezzo inferiore dell'istrumento, e dicesi *mastice* o

stacciata. Il pezzo superiore consiste in un disco metallico, di un diametro un poco minore di quello del mastice, e fornito di un manico isolatore di vetro verniciato. Esso ha il nome di *scudo*. Si elettrizza quest'apparecchio strofinando il mastice con un pezzo di flanella o percuotendolo con una coda di volpe o una pelle di gatto, avendo cura che il piatto sia in comunicazione col suolo. La carica che in questa guisa acquista il mastice è di elettricità negativa. Posandovi sopra lo scudo per mezzo del suo manico coibente, facendo quindi comunicare lo scudo stesso con l'orlo del piatto inferiore, mediante due dita, e quindi sollevando lo scudo, si trova questo carico di elettricità positiva. Si può ripetere molte volte questa operazione, e sempre collo stesso risultato. Lasciando lo scudo applicato sopra il mastice, l'apparecchio conserva lungo tempo la sua carica, ed è appunto per questo che Volta gli diede il nome di *elettroforo*. Questa persistenza della carica dipende principalmente dallo stato di dissimulazione in cui trovansi l'elettricità del mastice e quella sviluppata per influenza ed accumulata nella parte più prossima dello scudo.

Scarica elettrica. Sua propagazione. Quando un corpo più o meno carico di elettricità ritorna repentinamente allo stato naturale, avviene ciò che dicesi una *scarica elettrica*. Nell'ipotesi di Symmer la scarica dipende dalla riunione delle due contrarie elettricità; in quella di Franklin il corpo elettrizzato positivamente cede l'eccesso del fluido al corpo che ne difetta; sicchè ambedue riprendono lo stato naturale. Comunque si voglia considerare prodotta, la scarica elettrica è sempre preceduta dallo svolgimento de' due contrarj stati elettrici, nei corpi fra i quali essa avviene. Allorquando accostiamo un dito o un corpo conduttore qualunque al conduttore della macchina elettrica, sebbene nel vederne scoccare la scintilla ci sembri che sia la sua elettricità che si scarichi su di essi, nondimeno la scarica avviene fra l'elettricità della macchina e quella svoltasi per influenza sui corpi che le abbiamo avvicinati,

La scarica elettrica si annunzia con fenomeni rimarchevolissimi, i quali stanno a indicare un'alterazione più o meno considerevole nello stato dei corpi attraverso cui si

opera. Quando traversa l'aria svolge luce e calore producendo il fenomeno della scintilla; quando traversa dei fili metallici li riscalda; quando passa per le membra di un animale vi eccita delle contrazioni muscolari. Tutti questi effetti produconsi nel medesimo istante nei varj punti del corpo percorso, il che manifesta una somma rapidità di propagazione.

Questa velocità non è però sempre la stessa nei varj corpi pei quali avviene la propagazione, ma dipende dalla loro conducibilità. Se per iscaricare una bottiglia di Leida ci serviamo di varj archi della stessa lunghezza, ma di sostanze diverse, come ottone, legno, carbone, pauno inzuppato di acqua ec. ec. ci occorreranno tempi diversi per produrre la scarica totale della bottiglia; e mentre coll'arco metallico ciò avverrà istantaneamente, cogli altri farà d'uopo impiegare un intervallo di tempo più o meno apprezzabile.

Si era ammesso che nei corpi buoni conduttori la scarica si propagasse con una velocità infinita; ed in vero pareva ciò potersi dedurre dalle esperienze del Dottor Walson. Questo fisico, avendo preso un filo di ferro ripiegato in varj giri e della lunghezza di 11519 piedi francesi, ne avea fatto comunicare un capo coll'armatura esterna di una boccia di Leida, mentre l'altro capo potea farsi comunicare a volontà coll'armatura interna. Nel mezzo della sua lunghezza era il filo interrotto, e i due capi della interruzione erano tenuti uno per ciascuna mano da una persona posta nella stessa stanza in cui si scaricava la boccia. Ogni qual volta si produsse la scarica non fu mai possibile scorgere alcuna sensibile differenza di tempo fra l'istante in cui si vedeva scoccare la scintilla e quello della scossa; laonde convenne conchiudere che il movimento elettrico costituente la scarica si propagava per un filo metallico lungo 11519 piedi in un intervallo di tempo non apprezzabile dai sensi. Wheatstone peraltro con una ingegnosa esperienza dimostrò in seguito che la velocità della scarica non è infinita, e che sebbene sia oltremodo grande pure è valutabile. Egli prese un filo di rame di mezzo miglio di lunghezza e di $\frac{1}{15}$ di pollice di diametro, e lo dispose bene isolato in tante linee parallele; situò poi sopra una stessa linea verticale sei palline metalliche isolate, distanti $\frac{1}{4}$ di pollice

l'una dall'altra (*Tav. I, Fig. 20*). Le palline *a'* e *c* comunicavano co' capi estremi del filo, il quale nel mezzo era interrotto dalle palline *b* e *b'* cui le due metà del filo si congiungevano, ed in fine le palline *a* e *c'* comunicavano rispettivamente colle due armature di una boccia di Leida, la quale ricevendo continuamente elettricità si scaricava attraverso del lungo filo, mostrando tre scintille nella stessa linea, due delle quali prossime alle armature e corrispondenti agli estremi del medesimo, ed una tra *b* e *b'* nel mezzo. Le immagini delle tre scintille erano riflesse da uno specchio d' acciaio a due facce come quello indicato dalla figura 21, *Tav. I*, mobile intorno ad un asse verticale parallelo ai due piani riflettenti e fissato nel mezzo della grossezza dello specchio. Un meccanismo conveniente imprimeva allo specchio un rapido movimento di rotazione, e permetteva di contare il numero delle rivoluzioni che compieva in un dato tempo. Le immagini delle tre scintille osservate sullo specchio durante la sua rotazione, invece di essere tre punti luminosi, consistevano in tre lineette luminose, le quali allorchè lo specchio ruotava verso la sua di ritta assumevano la disposizione , mentre quando ruotava a sinistra prendevano l'altra disposizione , il che dimostra che le scintille estreme erano contemporanee, e quella di mezzo balenava un poco più tardi. Se l'elettrico si dovesse considerare come un fluido che passa da un'armatura all'altra, le immagini avrebbero dovuto presentare una di queste apparenze , o pure . Sembra a prima vista che questo risultato sia favorevole alla dottrina de' due fluidi; ma in vero esso può spiegarsi anche nell' ipotesi di una sola elettricità, perocchè per entrambi le azioni debbono cominciare dagli estremi e propagarsi verso il mezzo del circuito. Dalla differenza angolare delle tre immagini il fisico inglese concluse che la velocità dell'elettrico è di 250 mila miglia inglesi per secondo, cioè superiore a quella della luce, di modo che se quel filo metallico avesse circondato la terra secondo l'equatore sarebbe stato percorso in $\frac{1}{6}$ di minuto secondo.

Se nello esperimento di Wheatstone, ad un filo di rame si sostituisce un filo di ferro o di platino, che sono assai peggiori conduttori del rame, la scintilla di mezzo sarà anche più ri-

tarziata. Un tubo di vetro pieno di acqua la ritarderebbe anche più; e così proseguendo, questo ritardo si farebbe sempre maggiore usando per conduttori della scarica corpi viepiù coibenti. Le proprietà di condurre e d'isolare dei corpi, sono adunque in realtà una sola proprietà posseduta in diverso grado dai corpi; perchè è ragionevole ammettere che in tutti il ritardo della scintilla all'interruzione posta alla metà dell'arco, provenga dalla stessa causa, vale a dire dalla *resistenza* più o meno grande offerta al passaggio della scarica dai varj corpi da questa attraversati.

Effetti della scarica elettrica. Gli effetti del passaggio istantaneo dell'elettricità attraverso i corpi, possono distinguersi in fisici, meccanici, chimici e fisiologici.

Per far passare la scarica di una batteria attraverso un corpo qualunque si fa uso di un apparecchio, conosciuto col nome di *Scaricatore universale*. Esso componesi di due verghe metalliche ab ed $a'b'$ (*Tav. 1, Fig. 22*) montate a cerniera sopra le colonne isolanti cd e $c'd'$; scorrono con sfregamento, queste verghe entro due anelli, in guisa che le loro estremità possono più o meno allontanarsi fra loro e prendere tutte le possibili inclinazioni. Nel mezzo v ha un sostegno mn che può fissarsi a diverse altezze, ed è destinato a ricevere i corpi attraverso ai quali si fa passare la scarica. Le estremità lontane delle due verghe sono terminate ciascuna da un anello, ed è per mezzo di questi anelli che si stabiliscono le comunicazioni colla batteria; le altre due estremità prossime $a'b$ sono terminate da due palline che possono togliersi, perchè fissate a vite, ed allora mettono allo scoperto due punte assai aguzze, che formano le estremità delle verghe.

Tra gli *effetti fisici* della scarica, il più generale si è quello del *riscaldamento* che fa subire ai corpi che traversa. Se si fa passare la scarica per un filo metallico posto entro la bolla di un termoscopio, l'indice di questo strumento vien posto in movimento e può anche darci la misura del riscaldamento prodotto. Facendo passare una data scarica elettrica attraverso a fili metallici di natura e dimensioni diverse, si osserva che il riscaldamento cresce proporzionalmente alla resistenza che incontra l'elettricità a propagarsi. Perciò assottigliando il filo

metallico scaricatore, allungandolo, scegliendolo di quella sostanza metallica che più difficilmente conduce l'elettricità, si avrà il maggiore svolgimento di calore.

In conseguenza del riscaldamento prodotto dalla scarica elettrica sui varj metalli succedono dei fenomeni dipendenti dalla proprietà che hanno i varj fili metallici fortemente riscaldati di fondersi, di volatizzarsi e di bruciare. Un filo di ferro attraversato dalla scarica di una batteria diviene incandescente, brucia e si disperde in un'infinità di piccoli grani allo stato di ossido. I fili d'argento, di stagno, di zinco sono pure fusi o volatizzati. Una foglia d'oro battuto, stretta tra due lastre di vetro e attraversata dalla scarica di una batteria si converte in una polvere violacea, la quale spargesi in tutti i versi, e che altro non è che oro estremamente diviso. Si può anzi applicare questa esperienza a disegnare un'immagine violetta sulla seta. A quest'uopo s'intaglia l'immagine in una carta che si posa sopra un pezzo di seta bianca, e sopra la carta si distende la foglia d'oro. Si stringe questo insieme fra due lastre di vetro entro un morsetto di legno, e si fa passare la scarica attraverso la foglia d'oro; dopo di che si trova l'immagine disegnata sulla seta in violetto dall'oro estremamente diviso che è stato trasportato dalla scarica.

Questi fenomeni di fusione, volatilizzazione e fors'anco di ossidazione, possono in parte servire a spiegarci le macchie singolari che si formano sulle lamine metalliche attraverso di cui si opera una scarica, quando s'interpongono alle punte dello scaricatore universale. Queste macchie sono anelli circolari, aventi per centro comune le punte dello scaricatore, e si estendono successivamente a misura che si ripetono le scariche. Quelli del mezzo sono formati di punti lucenti e di piccole cavità indicanti una fusione superficiale; gli altri sono di una polvere nera poco aderente. Adoperando una lastra d'argento, le macchie sono formate da una polvere scura, che sembra consistere in ossido d'argento. Gli anelli sopra descritti, per essere stati particolarmente osservati dal Priestly, hanno ricevuto il nome di *anelli di Priestly*.

I fenomeni di riscaldamento pel passaggio della scarica si producono anche sopra sostanze non metalliche. Così essa è

capace di accendere l'etere, l'alcool e la polvere da sparo, di agglomerare, fondere e vetrificare della sabbia silicea. Le così dette *pietre del fulmine*, sembra che sieno prodotte dalla fusione delle materie selciose su cui il fulmine si scarica; e difatto Savart operando con grandi batterie, ha ottenuto artificialmente dei tubi fulminei analoghi a quelli naturali.

Nel suo passaggio attraverso i liquidi, la scarica li riscalda, li dilata e li riduce repentinamente in vapore. Un tubo di vetro pieno di liquido ed esattamente chiuso, si rompe in mille pezzi nell'istante in cui è traversato dalla scarica. Beccaria immaginò un piccolo mortajo di avorio fornito di una cavità entro cui si mette una pallina di legno. Si fa passare la scarica nel fondo di esso per mezzo di fili metallici convenientemente disposti, dopo avervi versato qualche goccia d'acqua o di alcool. La pallina viene così lanciata a grande distanza dalla espansione de' vapori che si formano.

Anche l'aria è dilatata dal passaggio della scarica. Può ciò facilmente dimostrarsi coll'apparecchio di Kinnersley. Questo consiste in un forte cilindro di vetro (*Tab. I, Fig. 23*), congiunto alle due estremità per mezzo di mastice con due ghiera di ottone che lo chiudono esattamente, e sostengono due conduttori terminati da una sfera, uno dei quali è fisso, mentre l'altro scorre a volontà entro una ghiera a sfregamento. Dalla base dell'apparato diramasi un secondo tubo laterale, aperto superiormente. Nell'interno v'ha uno strato di acqua che si dispone alla stessa altezza anche nel tubo laterale, ed il cui livello è alquanto al disotto della sfera inferiore. Quando si fa passare la scarica di una bottiglia di Leida fra le due sfere, l'acqua istantaneamente respinta fuori del tubo più ampio s'innalza nel più piccolo di circa due centimetri; il quale effetto, evidentemente non è cagionato dal solo innalzamento di temperatura, ma piuttosto dalla rapida compressione che subisce l'aria nel passaggio della scarica; perocchè se dipendesse dal riscaldamento, il fenomeno non sarebbe istantaneo.

La scarica è pure capace di *effetti meccanici* considerevoli. Facendo passare la scarica di una batteria attraverso un cartone, si giunge a forarlo; e se la batteria è potente si può anche forare un grosso libro. Questo fatto ci manifesta

che l'elettricità nel suo passaggio attraverso certi corpi ne trasporta via una porzione di materia; e questo trasporto si opera con tale velocità che se nell'esperimento citato si tiene il cartone sospeso ad un filo, il traforamento avviene senza che il medesimo concepisca alcun movimento. L'apparecchio più adattato per questa esperienza è quello rappresentato dalla Figura 24, Tav. I. Il cartone si colloca fra le due punte metalliche p e p' isolate l'una dall'altra. Servendosi di questo apparato si possono osservare delle importanti circostanze relative al fenomeno in discorso. Se la carica non è molto forte, e se le due punte non sono di contro, il foro che si ottiene sulla carta è sempre a contatto della punta comunicante coll'armatura negativa. Se operasi nell'aria rarefatta, si vede che il foro si avvicina tanto più alla punta positiva quanto meno densa è l'aria. Se la carica è fortissima, e si opera nel vuoto della macchina pneumatica tenendo le punte distanti fra loro di alcuni centimetri, invece di un sol foro se ne formano varj nell'intervallo fra le due punte. Dei quali fenomeni non si sa dare una conveniente spiegazione. Quando si fa passare la scarica attraverso una sottil foglia di stagno, si formano due fori, i quali per la disposizione dei loro contorni appariscono prodotti da forze dirette l'una contro l'altra; ma quello corrispondente alla carica positiva è sempre il maggiore. Questa maggior forza di proiezione che presenta generalmente la punta positiva può anche direttamente mostrarsi colla seguente esperienza. Si pone una pallina di legno o di midolla di sambuco in un canaletto fatto con due cannelli di ceralacca posti a contatto, e si dispone fra le due punte di uno scaricatore, tenute assai distanti fra loro. Nell'istante della scarica si vede sempre la pallina spinta verso la punta negativa.

La scarica quando è molto forte si apre una via anche attraverso alle materie coibenti; ed infatti per mezzo di una forte batteria si giunge a traforare anche un vetro. Si eseguisce questo esperimento per mezzo di un apparato, consistente in due colonne di vetro, che sostengono, mediante una traversa orizzontale, un conduttore B terminato in punta (Tav. I, Fig. 25). La lastra di vetro A che vuolsi traforare si appoggia sopra un cilindro isolante di vetro vuoto, contenente pure una punta

metallica, che s'innalza quasi fino al contatto della lastra. Si dispone l'altra punta in faccia a questa e si fa passare la scarica. Per facilitare il traforamento della lastra si pone a contatto della punta superiore una goccia di liquido conduttore, come per esempio di olio. Se si fa passare la scarica della batteria nell'interno di un legno, di un pezzo d'argilla o di zucchero, di una pietra qualunque, accade sempre, quando la carica è molto forte, che questi corpi s'infrangono.

Tutti questi effetti meccanici da noi descritti sono stati da molti considerati come la conseguenza dello sviluppo del calore che avviene nei corpi traversati dalla scarica, il quale darebbe luogo ad improvvise dilatazioni e ad istantanei svolgimenti di vapori o di gas. Ma in molti casi, tali effetti sono tanto grandiosi, che è impossibile ammettere che abbiano origine da questa sola cagione. Nelle scariche elettriche naturali, si sono talvolta veduti effetti di trasporto così maravigliosi da non potersi spiegare colla produzione di vapori o di altri fluidi elastici operata dalla scarica. Il fulmine cadendo su certi edifizj ne ha non di rado trasportati enormi pezzi di materiale a ragguardevoli distanze.

In quanto agli *effetti chimici* della scarica, si osserva, che fatta passare attraverso l'acqua una serie di piccole scariche successive, le quali si seguano ad intervalli brevissimi di tempo, l'acqua ne è decomposta ne'suoi elementi. Una simile decomposizione si osserva in una soluzione di solfato di rame; nella quale dopo un lungo passaggio di piccole scariche successive, si trova del rame ripristinato. Faraday ha insegnato un mezzo facile di render sensibile la decomposizione di una soluzione salina neutra per mezzo del passaggio di una serie di scariche. Si dispone sopra un foglio di carta colorita colla laccamuffa un certo numero di losanghe di stagnola (*Tav. I. Fig. 26*) in modo che tutte le loro punte aguzze trovinsi sulla stessa linea e distanti pochi millimetri l'una dall'altra. Si bagna la carta colla indicata soluzione salina; quindi munito il conduttore della macchina elettrica di una punta metallica, vi si accosta la punta della prima losanga del foglio di carta e si fa agire la macchina. Dopo un certo tempo si vede la carta di laccamuffa farsi rossa sotto la punta della macchina,

e sotto le altre punte delle losanghe che sono all'estremità opposta alla punta metallica della medesima.

L'azione chimica della scarica si osserva eziandio sui corpi allo stato solido. Un filo di ottone è decomposto dal passaggio della scarica nei due metalli, rame e zinco, da cui è formato, i quali vengono separati allo stato di ossido. L'ossido di stagno è pure decomposto e ridotto in parte allo stato metallico, come anche il solfuro di mercurio.

Gli *effetti fisiologici* della scarica son quelli che essa esercita sugli esseri viventi. Poche esperienze sono state tentate intorno agli effetti della scarica sulle piante: molte invece sono quelle fatte sugli animali. Gli animali viventi traversati dalla scarica, provano nelle loro membra una commozione più o meno violenta, una specie di urto più o meno doloroso, il quale si estende tanto maggiormente nel loro corpo quanto è maggiore la carica elettrica che li traversa. Questo fenomeno si conosce volgarmente col nome di *scossa*. Quando accostiamo un dito alla macchina elettrica, e ne abbiamo una scintilla, la scarica si opera in noi; ma allora la quantità dell'elettricismo è così piccola che non produce la scossa. La scintilla non produce che una puntura limitata al punto su cui scocca, e non molto viva. La scossa si ottiene per mezzo della bottiglia di Leida e della batteria. Allorquando tenendo con una mano la bottiglia nella sua parte coperta dall'armatura esterna, coll'altra mano tocchiamo il bottone dell'armatura interna, la commozione che risentiamo è più o meno estesa, a seconda della carica. Se questa è piccola, essa non estendesi al di là delle dita o del gomito, ma se è assai forte produce dolore al petto, e si estende anche alle estremità inferiori. I punti del corpo che più risentono la scossa sono le articolazioni delle membra, e ciò forse a motivo della diminuzione in quei punti della massa muscolare la quale ben conduce la scarica, e l'accrescimento invece delle parti ossee e tendinose, le quali malamente conducono, cosicchè ivi una maggior quantità di elettrico è costretta a traversare i filamenti nervosi.

Quando si fa passare la scarica di una o di più bottiglie attraverso varie persone che si tengono per la mano, formando

ciò che dicesi una *catena*, la scossa è maggiormente risentita dagl'individui situati alle estremità, ed assai poco da quelli del mezzo, specialmente se la catena è numerosa. Ciò proviene dallo scaricarsi di una porzione della elettricità nel suolo; ed infatti se l'esperienza vien ripetuta mentre tutti stanno sopra un piano isolante, la scossa è risentita da ognuno colla stessa intensità.

Se la superficie del corpo umano o dell'animale che si sottopone alla scarica è resa conduttrice da uno strato di umidità, i suoi effetti sono grandemente indeboliti. Così Franklin racconta di non essere mai riuscito ad uccidere un sorcio bagnato, quantunque sottoposto a potentissime scariche.

La forte commozione che produce la scarica nell'organismo animale è capace di portare la morte. Per uccidere piccoli animali, come uccelletti, non fa d'uopo di forti scariche; molto considerevoli però debbono essere quelle atte ad uccidere animali di grosse dimensioni. La causa della morte pare risieda nell'azione che spiega l'elettrico sull'agente del sistema nervoso e che tende a indebolire. Spesso i cadaveri degli animali uccisi da una forte scarica elettrica non presentano alcuna traccia di lesione organica a cui potere attribuire la morte avvenuta; invece si osserva che se si fa passare una serie di piccole scariche elettriche sulla colonna vertebrale di un animale assai sensibile all'elettrico, quale si è la ranocchia, il medesimo prima di perire va soggetto ad uno stato convulsivo violento, simile al tetano, il quale denota una viva azione sull'agente nervoso.

Ma ciò che è forse il più singolare tra gli effetti fisiologici della scarica, si è la sua azione sul sistema muscolare degli animali anche dopo la morte. Se si uccide una rana, si spella, e si pongono a nudo i suoi muscoli, quindi si sottopone alla scarica, vedonsi le sue membra contrarsi come se fosse ancora vivente. Vero è però che tale avanzo di eccitabilità nel sistema muscolare mediante l'elettrico è solo di breve durata e non persiste che per poche ore.

Fenomeni luminosi dell'elettricità. Le più grandi cariche accumulate sui corpi, sia direttamente, sia per influenza e dissimulazione, non danno mai alcuna apparenza luminosa quando l'equilibrio è stabilito ed il fluido è in riposo. Perciò

la prima condizione per la produzione della luce elettrica si è il moto del fluido elettrico o la rottura del suo equilibrio; ma questa non è la sola condizione; bisogna di più che la tensione che ha determinato il movimento del fluido abbia un'intensità sufficiente. Così l'elettricità di una macchina ordinaria non dà luce sensibile quando fluisce nel suolo per mezzo di un filo metallico; mentre una macchina molto potente può circondare di un'aureola molto lucente un lungo filo di ferro comunicante col suolo nel modo più perfetto.

Ogni qual volta l'aria o un altro corpo cattivo conduttore è interposto fra due corpi carichi di elettricità contrarie, la scarica avviene tra di essi con svolgimento di calore e di luce, e con strepito: si ottiene così la *scintilla*. Onde il fenomeno della scintilla si produca è necessario che la tensione delle due cariche contrarie superi il limite della resistenza che il corpo coibente oppone alla scarica. Questo limite varia colle quantità di elettricità che tendono a riunirsi, colla distanza alla quale queste cariche si trovano, ed anche colla densità e natura del mezzo coibente interposto. Esso è la misura del potere isolante che conserva disgiunte due cariche elettriche prossime.

Dicesi *distanza esplosiva*, quella a cui avviene la scarica. Ora dalle esperienze di Volta risulta che *questa distanza cresce in ragione diretta semplice delle quantità di elettricità*, ed è indipendente dalla capacità dei conduttori da cui scocca la scintilla e dalla natura dell'arco scaricatore. Questa legge può determinarsi collo *spinterometro*, il quale istrumento consiste in un cilindro di vetro di una certa lunghezza, terminato da due ghiera metalliche, da una delle quali s'innalza nell'interno del cilindro un'asta metallica terminata in una palla metallica; e nell'altra scorre un'asta simile, la cui palla può avvicinarsi più o meno alla precedente. Si pone la prima asta in comunicazione colla macchina elettrica, l'altra in comunicazione col suolo. Facendo agire la macchina si veggono scoccare delle scintille fra le due palle. Variando la distanza fra di esse, e misurandola mediante un'asta graduata fissa sul cilindro, si vede per mezzo dell'elettrometro di Henly, che le tensioni a cui giunge la macchina prima di produrle sono

proporzionate alle distanze esplosive. Questa legge non si verifica più, se i due conduttori fra cui avviene la scarica non sono terminati da due palle sferiche e di eguali dimensioni. Variando le forme e le dimensioni delle estremità dei conduttori, le distanze esplosive non si conservano più proporzionali alle cariche.

Harris ha determinato la legge del rapporto fra la distanza esplosiva e la densità dell'aria o del gas attraverso del quale scocca la scintilla. Questa legge è, che *per una stessa quantità di elettricità le distanze esplosive e le densità dell'aria sono inversamente proporzionali*. A misura che la densità dell'aria diminuisce addivene sempre maggiore la distanza a cui scocca la scintilla. Può ciò verificarsi rarefacendo successivamente l'aria nell'interno del cilindro dello spinterometro. A quest'oggetto, una delle sue ghiera è fornita di un tubo, che può avvitarsi sulla macchina pneumatica, e mediante un canaletto l'interno dell'apparecchio comunica con essa. Quando l'aria v'è assai rarefatta si veggono le scintille scoccare a una grande distanza. Si può fare il vuoto in un tubo lungo tre o quattro piedi, ed elettrizzare una delle sue ghiera di ottone, tenendo l'altra colle mani. Allora, operando all'oscuro, si vede ad ogni scintilla che salta lampeggiare il tubo da un'estremità all'altra.

Queste esperienze hanno condotto a studiare il modo di agire dell'elettricità nel vuoto assoluto. Le osservazioni le più accurate istituite nella camera barometrica hanno dimostrato che il vuoto perfetto non conduce l'elettricità. Ma acciocchè questo fatto si renda evidente egli è necessario che la camera barometrica sia resa affatto scevra di vapori, i quali quantunque scarsi possono servire a condurre l'elettricità. Anzi negli ordinarij barometri ciò avviene sempre, ond'è che la camera loro vedesi lampeggiare nell'oscurità, quando si fa in essi salire e scendere replicatamente la colonna mercuriale, a motivo dell'elettricità che si sviluppa nella confricazione del mercurio contro le pareti del tubo. Costruendo un doppio barometro come quello indicato dalla Fig. 27, Tav. I, e mediante i due pozzetti facendo passare la scarica da una colonna all'altra del medesimo, si vede tutto lo spazio arcuato risplendere di viva

luce. Se però si sottopongono le due colonne del mercurio ad una bassa temperatura; se invece di mercurio si usa qualche metallo fuso che non produca vapori, infine se si prendono le maggiori precauzioni, affinchè il vuoto del medesimo sia il più perfetto possibile, si vede che l'elettricità si diffonde sempre più difficilmente, ed il fenomeno luminoso si fa viepiù debole. Inoltre Becquerel ha provato che nel vuoto di una buona macchina pneumatica, alla pressione di un millimetro un corpo elettrizzato conserva indefinitamente una certa tensione elettrica. Così accade ad un elettroscopio, di cui si vede conservare la divergenza delle pagliuzze; ma se però gli si accosta un'asta metallica, quella tosto diminuisce, per ritornare allontanando l'asta; il qual fatto è importantissimo, stando a provare che mentre il vuoto non è conduttore dell'elettrico, possono non di meno attraverso di esso prodursi i fenomeni dell'influenza.

La luce della scintilla elettrica è tanto più viva, quanto più grande è la quantità dell'elettricità che si scarica. Il suo colore varia a seconda del mezzo gassoso in cui si produce. Nell'aria ha un color giallo splendente, nell'azoto è porporina o blu, nell'idrogeno di un bel cremisi, nell'ossigeno bianca, nell'aria rarefatta violacea. S'ignora la causa di queste differenze.

La scintilla varia anche di colore al variare della natura dei conduttori da cui scocca. Così, le scintille che si traggono da un conduttore di ottone inargentato sono di un bel verde; quelle che scoccano da una palla di avorio o di legno sono rosse. Ciò dipende sicuramente da porzione di materia trasportata e volatilizzata. Fusinieri ha provato che la scintilla prodotta da una forte scarica porta seco un poco di argento se scocca da un cilindro di argento, ed un poco di rame se parte da un conduttore di rame. Il corpo su cui la scintilla si scarica mostra le tracce del metallo trasportato. Fatta passare la scintilla fra due globi di metalli diversi, come d'argento e di rame, si trova una macchia di rame deposta sull'argento e reciprocamente.

In quanto alla forma della scintilla è facile osservare, che allorquando essa è corta, la sua traccia luminosa è rettilinea;

mentre quando la sua lunghezza supera un pollice, prende presso a poco la forma a zig-zag, che caratterizza il fulmine. La sua durata è brevissima, ed è stata determinata dalle ingegnose esperienze di Wheatstone. Egli adoprava a quest'uopo il solito specchio rappresentato nella Figura 21, ruotante intorno ad un asse verticale, che disponeva in faccia a due palle *A* e *B* (Tav. I, Fig. 28) situate verticalmente una al di sopra dell'altra, fra cui faceva scoccare la scintilla d'una macchina elettrica. È chiaro che se il punto luminoso situato dinanzi allo specchio ruotante fosse immobile, l'immagine del medesimo si trasformerebbe in una circonferenza luminosa, quando la velocità di rotazione fosse sufficiente. Ma se il punto luminoso si muoverà durante la rapida rotazione dello specchio parallelamente all'asse del medesimo, come appunto avviene nel caso della scintilla elettrica nell'apparecchio di Wheatstone, la composizione de' due moti dell'immagine, derivanti dal moto del punto lucido e da quello dello specchio, dovrà far nascere una risultante diagonale, la cui inclinazione dipenderà dal rapporto della durata della scintilla colla velocità di rotazione dello specchio, cosicchè quest'ultima velocità essendo nota potrà dedursi la prima. Adunque l'immagine della scintilla non sarà più la linea *c'd*, ma sarà ingrossata ed obliqua come *cEE'c'*. Se però la durata della scintilla sarà tanto breve da non potersi stabilire il rapporto fra di essa e la velocità di rotazione dello specchio, l'immagine della scintilla sarà dritta qual si vedrebbe se lo specchio non ruotasse. Wheatstone, avendo portato la velocità dello specchio fino ad 800 giri per secondo, avea mezzo d'accorgersi della durata di un solo $\frac{1}{1731000}$ di secondo. Malgrado di questa velocità dello specchio, egli non vide alcuna obliquità nella immagine di una scintilla lunga quattro pollici, che faceva scoccare dinanzi allo specchio; cosicchè la sua durata era minore di quella piccolissima frazione di secondo. Potè così calcolare che la velocità della scintilla che scocca direttamente dalla macchina elettrica supera quella di 60 miglia italiane al secondo.

Vi sono anche altri modi per dimostrare l'immensa rapidità della scintilla elettrica. Ognun sa che se si dispone un carbone acceso sopra la periferia di un disco, che si faccia

ruotare con una certa rapidità, invece di scorgere un sol punto luminoso, si vede una circonferenza luminosa. L'esperienza ha mostrato che ciò avviene tutte le volte che il carbone acceso fa un intiero giro almeno in $\frac{1}{10}$ di secondo; il che mostra che la sensazione luminosa persiste nell'occhio per quell'intervallo di tempo. Ora è evidente che se invece di un sol carbone acceso se ne disponessero sulla periferia della ruota, due, quattro, dieci, cento, tutti ad egual distanza tra loro, basterebbe a produrre la circonferenza luminosa una velocità di rotazione che fosse $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{100}$ della velocità primitiva. Con due carboni basterebbe che la velocità fosse di $\frac{1}{10}$ di secondo per mezzo giro; con dieci che fosse di $\frac{1}{10}$ di secondo per $\frac{1}{10}$ di giro e così di seguito. Se invece di un oggetto luminoso per sè stesso, come il carbone acceso, sarà posto sulla ruota un oggetto luminoso per riflessione, il fenomeno si riprodurrà nella stessa guisa. Così immaginiamo una ruota a fondo nero, sulla quale sieno disposti a guisa di raggi tante strisce di carta inargentata. È chiaro che fatta girare con una certa rapidità dinanzi ad una candela accesa, apparirà tutta splendente come se fosse intieramente coperta di argento. Se una sola fosse la striscia lucente applicata sulla ruota, basterebbe alla produzione del fenomeno che la ruota facesse un giro ad ogni $\frac{1}{10}$ di secondo; se le strisce fossero cento basterebbe una velocità di dieci secondi. Ma immaginiamo che la ruota abbia cento strisce, e faccia una intiera rivoluzione in $\frac{1}{10}$ di secondo: è chiaro che ogni striscia impiegherà la centesima parte di $\frac{1}{10}$ di secondo per passare da una qualunque delle sue posizioni, alla posizione della striscia seguente. Se in tali circostanze, la ruota, invece di essere illuminata da una luce continua, lo sarà invece da una luce di breve durata; è chiaro che se la durata di questa sarà eguale o maggiore di $\frac{1}{1000}$ di secondo, la ruota apparirà all'osservatore tutta splendente, come se fosse illuminata da una luce continua; ma se invece sarà minore di quel brevissimo intervallo di tempo, la luce non colpirà le strisce che in una sola delle loro posizioni; cosicchè apparirà all'occhio come se fosse immobile. Ora illuminando la ruota anzidetta con una scintilla elettrica, essa

apparisce come se fosse perfettamente in riposo; e ciò avviene anche quando si dà alla ruota una velocità assai maggiore di quella supposta, e si dispongono sulla sua superficie un numero assai maggiore di strisce risplendenti. Così operando Wheatstone si assicurò che la durata della scintilla della macchina era minore di $\frac{1}{11100}$ di secondo. Egli è a motivo di questa immensa velocità, che allorquando s'illumina con una scintilla elettrica la parte torbida di una vena liquida, se ne veggono distintamente le gocce disgiunte che la formano, le quali ad una luce durevole sembrano formare un filo continuo.

Sull'istantaneità della scintilla elettrica e la rapidità della propagazione dell'elettrico, sono stati costruiti diversi apparecchi, atti a produrre varie apparenze luminose più o meno belle. Tali sono i *tubi* e i *quadri scintillanti*, ec. ec. I primi sono lunghi tubi di vetro, su cui sono state incollate tante piccole losanghe di stagnola, situate l'una dietro l'altra, e colle punte a piccola distanza fra loro. La scintilla scocca nel medesimo istante fra tutte queste losanghe, ed il tubo apparisce illuminato in tutta la sua lunghezza. I quadri scintillanti sono costruiti in un modo analogo, ma in guisa che la scintilla scoccando fra tutti i pezzetti metallici del quadro, produca un bel disegno. Con dei piccoli grani metallici infilati nella seta, e tenuti con dei nodi ad una piccola distanza fra loro, possono formarsi catene, ghirlande, o disegni, che fatti comunicare colla macchina elettrica, risplendono superbamente nell'oscurità ad ogni scintilla che scocca.

L'elettricità mostra apparenze luminose anche quando esce dalle punte; ed è rimarchevole che la luce che si manifesta in queste circostanze presenta caratteri diversi secondo che esce da un conduttore elettrizzato positivamente, o da uno elettrizzato negativamente. Nel primo caso si ha un *fiocco* luminoso; nel secondo, un sol punto illuminato di luce assai viva, che dicesi *stelletta*. Il fiocco si osserva benissimo nell'oscurità, applicando una punta smussata all'estremità del conduttore della macchina elettrica. Esso è violetto, assai più splendente presso la punta, e va impallidendo verso le ramificazioni. È sempre agitato da un certo tremolio, ed accompa-

gnato da un piccolo fragore. Se gli si accosta una mano, o dei conduttori, acquista maggiore sviluppo, ed a seconda della direzione di essi e della loro forma, prende le varie forme indicate dalle figure 29, 30 e 31 della Tavola I. Nel vuoto le apparenze del fiocco elettrico sono anche più belle.

Il fenomeno della stelletta elettrica può ottenersi, sia per mezzo di una macchina che fornisca elettricità negativa, applicandovi la solita punta smussata, ovvero anche per mezzo di un conduttore elettrizzato positivamente accostandovi la medesima punta colla mano. Però avviene in qualche circostanza che la stelletta si converte in fiocco, e reciprocamente; il che mostra che tra i due fenomeni non v'ha poi una distinzione assoluta.

I fisici si sono occupati a rintracciare la causa dello svolgimento di calorico e di luce che accompagna la scintilla elettrica. Alcuni l'hanno per lungo tempo attribuito alla forte compressione che subisce l'aria nel passaggio della scarica attraverso di essa. Si riteneva che avvenisse in questo caso ciò che era stato osservato molte volte nell'acciarino pneumatico, in cui al momento della rapida compressione dell'aria, si aveva un lampo di luce. Ma è ormai dimostrato che lo sviluppo di luce che si ha in questo strumento è solo dovuto all'accensione di quel poco di materia grassa, con cui si unge lo stantuffo del medesimo; poichè quando lo stantuffo ne è privo, ovvero quando si comprime un gas privo di ossigeno, il fenomeno non si riproduce. Altri considerarono la luce elettrica come interamente e unicamente prodotta dall'incandescenza o dalla combustione delle particelle solide strappate dai corpi dall'elettricità che gli ha traversati. Ma anche questa ipotesi non regge alla discussione, imperocchè si hanno molti casi in cui la scintilla si produce senza che possa essere avvenuto trasporto di materie solide, come appunto avviene nel fulmine. Le particelle materiali trasportate dalla scarica, possono, è vero, come abbiamo già detto, influire sul colore e sugli altri caratteri della scintilla, ma non ne sono al certo la causa. Devesi adunque ammettere, che nel modo stesso con cui ad un forte svolgimento di calore, va accompagnato un grande svolgimento di luce, così ad una

abbondante produzione di elettrico si uniscano il calorico e la luce insieme. Moltissime sono le circostanze in cui questi tre agenti si svolgono insieme e si accompagnano, e molte quelle in cui l'uno sembra trasformarsi nell'altro; ond'è che appariscono avere la stessa origine, ed essere modificazioni di un solo e medesimo principio.

Effetti della scintilla elettrica. Gli effetti della scintilla di cui vogliamo far parola son quelli che debbonsi attribuire principalmente alla luce ed al calore che l'accompagnano, imperocchè sono i medesimi ancora prodotti da questi due agenti, sia che agiscano separatamente, ovvero insieme uniti. Consistono questi effetti in un'azione chimica pronunziatissima che la scintilla esercita su certi corpi, e nella fosforescenza che produce su di altri. Molti gas capaci di combinarsi, attraversati dalla scintilla si combinano realmente. Così avviene dell'idrogeno e dell'ossigeno, dell'idrogeno e del cloro, dell'azoto e dell'ossigeno, ec. ec. Allorquando si fa passare una scintilla in un miscuglio di ossigeno e idrogeno nelle proporzioni atte alla formazione dell'acqua, contenuto in un recipiente chiuso, la combinazione avviene con detonazione. Volta applicò questo fatto alla costruzione di un apparecchio atto a lanciare in distanza un proiettile, e che perciò ricevè il nome di *pistola del Volta*. Consiste in una specie di matraccio metallico il cui orifizio è chiuso da un turacciolo di sughero *m*, e nell'interno del quale penetra un'asta metallica *a b* isolata con un tubo di vetro e con ceralacca, che va a terminare a poca distanza dalla parete metallica del recipiente (*Tav. I, Fig. 32*). Introducendo un po'd'idrogeno nel recipiente onde si mescoli all'aria, e poi facendo scoccare una scintilla sull'estremità *a* dell'asta metallica, questa saltando in *b* nell'interno del recipiente, produce la combinazione dell'ossigeno dell'aria coll'idrogeno introdotto, e l'esplosione ha luogo con la proiezione in distanza del turacciolo *m*. Priestly e Cavendish osservarono che facendo passare un certo numero di scintille in un recipiente chiuso e pieno di aria, accadeva la combinazione dell'ossigeno e dell'azoto atmosferico, formandosi una certa quantità di acido nitrico. Quando tratteremo dell'elettricità atmosferica, vedremo che l'acido nitrico che

accompagna le piogge temporalesche, deve ritenersi prodotto dalla combinazione degli elementi dell'aria, operata dal passaggio del fulmine. Ma ciò che v'ha di rimarchevole nell'azione chimica della scintilla si è che mentre è capace di produrre la combinazione di certi gas, è poi capace di distruggere il composto formatosi. Così mentre produce la combinazione dell'idrogeno col cloro, dell'ossido di carbonio coll'ossigeno, dando luogo agli acidi cloridrico e carbonico, agendo poi su questi li decompone, il primo in idrogeno e cloro, ed il secondo in ossigeno ed ossido di carbonio.

La fosforescenza che la scintilla produce su certi corpi consiste nella luce colorata che questi emettono nell'oscurità, dopo essere stati traversati dalla scintilla. È questo un effetto analogo a quello che si produce sugli stessi corpi dopo essere stati riscaldati ovvero esposti per qualche tempo ai raggi solari. Si riproduce facilmente disponendo la materia capace di acquistare la fosforescenza, fra le estremità dello scaricatore universale, e facendo quindi scoccare fra di esse una scintilla. Se si è avuto cura di chiudere gli occhi un momento prima della scarica, e si aprono immediatamente dopo, si vede il corpo tramandare una luce fosforica che varia di colore, a seconda della sua natura. Così questa luce è verde sul fosfato di barite, sullo zucchero in pani, sul gesso ec., mentre è rossa sui gusci d'ostrica calcinati e sul cristallo di rocca. Affinchè un corpo addivenga fosforescente colla scintilla non è necessario che la scarica lo traversi; così il fenomeno si produce quand'anco si ricuopra la sostanza su cui si esperimenta con una lastra di vetro, e al di sopra di questa si faccia scoccare la scintilla. Egli è adunque evidente che la fosforescenza è solo dovuta alla luce elettrica, e non al passaggio della elettricità.

Sorgenti dell'elettricità statica. Di varia natura sono le azioni che producono svolgimento di elettricità nei corpi. Alcune sono meccaniche, altre fisiche, ed altre chimiche. Le prime consistono nella pressione, nello sfogliamento dei corpi cristallizzati in lamine, e nella confricazione. Lo svolgimento di elettricità colla *pressione* fu la prima volta osservato da Epino, operando con due lamine di vetro, le quali

essendo premute l'una contro l'altra per mezzo di manichi coibenti e quindi rapidamente separate, si mostrarono cariche di elettricità contrarie. Volta dimostrò in seguito lo stesso fatto, operando con piattelli metallici forniti di manichi coibenti che premeva su varie materie, come carta, lana, pelli ec. ec., e quindi ritirava elettrizzati. Libes mostrò parimente che un disco metallico premuto leggermente sopra un disco di legno coperto di taffetà ingommato si elettrizzava negativamente, mentre quando veniva confricato sulla medesima sostanza, acquistava l'elettricità contraria. Più recentemente Haüy e Becquerel hanno grandemente moltiplicati questi fatti. Haüy ha fatto conoscere che vi sono molte sostanze minerali cristallizzate, le quali si elettrizzano colla più lieve pressione tra le dita; e fra queste al più alto grado lo spato islandico, vale a dire il carbonato calcareo romboedrico; la qual facoltà indusse il dotto mineralogista alla costruzione di un sensibile elettroscopio, consistente in un ago mobile intorno ad un pernio, ad un'estremità del quale è fissato un cristallo (*Tav. 2, Fig. 33*) di spato d'Islanda. Comprimendo tra le dita questo cristallo esso prende l'elettricità positiva, e la conserva assai lungamente; ond'è che sarà attratto dai corpi elettrizzati negativamente e respinto da quelli carichi della stessa elettricità sua.

Becquerel osservò che oltre la pressione anche la *separazione delle parti di un corpo cristallizzato* può essere una sorgente di elettricità. Distaccando tra loro le lamine costituenti il talco, la mica, il solfato di calce ec. si osserva nell'oscurità una debole fosforescenza. Per assicurarsi che il fenomeno è dovuto all'elettricità basta fissare a ciascuna delle lamine, prima di separarle, un manico di vetro, e presentarle rapidamente, dopo averle distaccate, ad un elettroscopio a foglie d'oro. Si vede allora che le due lamine posseggono elettricità contrarie.

V'ha anche produzione di elettricità allorquando si distacca un corpo cristallizzato per via di fusione, dallo stampo in cui fu colato. Così avviene quando si opera su dello zolfo, su del solfato di potassa ec. Sembra adunque che possa concludersi da tutti questi fatti che la separazione delle parti di un corpo,

sia sempre accompagnata da svolgimento di elettricità, purchè il medesimo abbia una struttura cristallina, imperocchè il fenomeno non si riproduce minimamente sui corpi amorfi, come il vetro, la gommalacca ec., quantunque sieno dotati di grande coibenza. È molto probabile che la luce che diffonde lo zucchero in pani quando viene spezzato nell'oscurità, sia dovuta alla causa di cui abbiamo ora discorso.

Ma l'azione meccanica che dà luogo al maggiore svolgimento di elettricità, e di cui più di ordinario ci serviamo per la produzione di questo fluido, si è la *confricazione*. Già abbiamo veduto come la confricazione di due corpi cattivi conduttori, e quella di un corpo buon conduttore con un cattivo conduttore diano luogo a questo svolgimento. Ma egli è provato dalle esperienze di Becquerel che si produce elettricità anche nella confricazione di due corpi buoni conduttori, come per esempio due metalli. È però vero che tale svolgimento è molto debole, e non di rado incapace di dar segni di tensione negli ordinarij elettroscopi. La circostanza più favorevole onde il fenomeno si manifesti, si è che uno dei metalli sia in limatura, e si faccia cadere sopra una lamina inclinata pure metallica che può essere della stessa o di differente natura. Raccogliendo la limatura sopra una cassula situata al di sopra dell'elettroscopio dopo che ha strisciato sulla lastra, si veggono dei segni di tensione. Anche l'aria ed i gas confricati contro un corpo solido sviluppano elettricità. Se si scuote un pezzo di seta nell'aria e poi si avvicina all'elettroscopio si trova elettrizzato negativamente. Allorquando si fa entrare rapidamente dell'aria entro recipienti che contengono delle sostanze coibenti, si vede prodursi nell'oscurità un debole lampo, che il Beccaria provò esser dovuto all'elettrico. La luce che talora accompagna la scarica del fucile pneumatico deve essere dovuta ad un'eguale causa.

È singolare l'azione che il calore esercita su questi fenomeni di elettricità svolta per confricazione. In generale si osserva che esso dispone i corpi ad acquistare la elettricità negativa. Se si prendono due nastri eguali di seta bianca, e si confricano in croce, in modo che uno rimanga immobile, e

l'altro scorra con tutta la sua superficie sempre sopra la stessa porzione dell'altro, si trova che quest'ultimo, che per essere stato confricato maggiormente si è più riscaldato, ha preso l'elettricità negativa. Per la stessa ragione i corpi a superficie più scabra tendono ad elettrizzarsi nel medesimo modo. Così avviene per esempio al vetro smerigliato confricato colla lana, mentre sappiamo che quando è liscio si elettrizza positivamente. Infine se si confricano fra loro due corpi coibenti, come due pezzi di ceralacca, uno caldo e l'altro freddo, si trova sempre che il primo prende l'elettricità negativa.

Infine ci resta a dire del rimarchevole svolgimento di elettricità che si ottiene nella confricazione del vapore acquoso, trascinante particelle di acqua condensata, contro le pareti di sottili orifizj. Nel 1840, vicino a Newcastle, il caso diede origine a questa scoperta. Il vapore di una caldaja essendosi aperto un adito attraverso la valvola di sicurezza, un operaio, mentre era in parte immerso nel vapore, nell'afferrare la leva della valvola ricevè una forte scossa, e vide una scintilla fra la leva e la propria mano. Il fisico inglese Armstrong informato di questo fenomeno, studiando le circostanze che lo avevano prodotto, giunse a scuoprirne le cause. Egli osservò che la caldaja, essendo isolata dalla cattiva conducibilità dei materiali del fornello, si caricava di elettricità negativa, mentre il vapore che ne usciva era elettrizzato positivamente; ma quando si obbligava il vapore a traversare un tubo di sostanza coibente, terminato con altro tubo metallico fornito di robinetto, la caldaja non si elettrizzava più; ma in sua vece si elettrizzava negativamente il tubo metallico isolato dalla caldaja, ed il vapore era al solito carico di elettricità positiva. Da ciò appariva con evidenza che l'elettricità non si produceva nella caldaja, ma sìvvero nel tubo di efflusso. Fu inoltre osservato che non accadeva svolgimento di elettricità se non quando il vapore si svolgeva sotto una grande pressione, nel qual caso il suo getto esce mescolato a molte gocce di acqua, da cui si dedusse che la causa di detto svolgimento consisteva nella confricazione delle gocciollette d'acqua trascinate rapidamente dal vapore contro le pareti del tubo o dell'orifizio di efflusso.

Su questo singolare fenomeno è fondata una macchina elettrica assai potente, l'idea della quale è dovuta allo stesso Armstrong. Essa consiste in una caldaja di lamiera di ferro (Tav. I, Fig. 34) a focolare interno, isolata su quattro piedi di vetro. La sua lunghezza è di circa un metro e mezzo, ed il suo diametro è di mezzo metro. Un tubo di cristallo situato verticalmente sulla destra della caldaja e comunicante con essa mediante ambedue le estremità, indica il livello dell'acqua nell'interno. Un piccolo manometro ne indica la pressione. Sulla caldaja v'ha un robinetto *C* che si apre appena che il vapore ha acquistato una sufficiente tensione. Al di sopra di questo robinetto trovasi un serbatoio *B* in cui circolano i tubi dai quali si sviluppa il vapore. Questi tubi sono terminati da tubi addizionali *A*, di una forma particolare, rappresentati più in grande dalla sezione *M*, alla sinistra della figura. L'interno di questi tubi di aggiunta è di legno duro, ed ha un ripiegamento che serve ad aumentare l'attrito. Infine la scatola *B* è piena di acqua per raffreddare i tubi di efflusso. Segue da ciò che il vapore, prima di giungere ai tubi addizionali dai quali deve uscire, subisce un principio di condensazione, ed esce mescolato a vescichette di acqua; condizione necessaria, per quanto abbiamo riferito, dello sviluppo della elettricità. Deve per altro osservarsi che onde questa macchina agisca, egli è necessario che l'acqua della caldaja sia pura, ed è singolare vedere che basta una piccolissima quantità di sale o di acido aggiunta all'acqua per far cessare ogni fenomeno elettrico, mentre poco olio di trementina o di uliva rovescia gli stati elettrici.

Amstrong confrontando gli effetti della sua macchina idroelettrica con quelli di una macchina ordinaria, ha determinato che a circostanze eguali, mentre la seconda somministrava 29 scariche per minuto, la prima ne dava più di duecento. Questo risultato indicherebbe il grande vantaggio che si avrebbe dall'uso delle macchine idroelettriche; non di meno è da osservarsi che in queste lo sviluppo della elettricità è intermittente, perocchè fa d'uopo di tratto in tratto chiudere il robinetto della caldaja, ed aspettare che il vapore riprenda la perduta tensione.

L'azione del calorico, ossia il cambiamento di temperatura dà luogo su molte sostanze a svolgimento di elettrico, ed a fenomeni di tensioni. Il corpo che più facilmente si elettrizza col riscaldamento è un minerale cristallizzato in prismi esagoni allungati, distinto col nome di *tormalina*. Trovasi il medesimo variamente colorato nei terreni primitivi, e non è raro incontrarlo nel granito dell'isola d'Elba. Varj altri corpi cristallizzati, come la boracite, il mesotipo, il topazio ec., godono della stessa proprietà, ma in minor grado; ed in tutti il celebre cristallografo Haüy constatò un difetto di simetria nella configurazione delle loro parti estreme. I fenomeni di tensione elettrica svolti col riscaldamento sono stati più particolarmente studiati sulla tormalina, ed ecco i risultati a cui si è giunti. Allorchè un cristallo di tormalina vien riscaldato, acquista la proprietà di attirare i corpi leggieri, come minuzzoli di carta ec.; inoltre si osserva che le sue estremità acquistano elettricità contraria. Adoperando due cristalli eguali ed in egual modo riscaldati, si riscontra lo stato elettrico contrario delle due estremità del medesimo cristallo avvicinandole a quelle dell'altro; poichè ora si osserva attrazione, ed ora repulsione. L'elettricità si svolge d'ordinario alla temperatura di 43° C, e l'azione continuata del calorico ne accresce sino ad un certo punto l'intensità: si giunge però ad un limite in cui questo aumento cessa, dopo di che proseguendo il riscaldamento, lo stato elettrico scompare del tutto. Se si rompe un cristallo di tormalina nel tempo che è elettrizzato col riscaldamento, si trova che tutti i frammenti sono elettrizzati nello stesso modo in cui era l'intero cristallo, ed è singolare che ciascuno di essi è più di quello carico di elettricità.

Volta considerava il *cambiamento di stato* de' corpi, ed in special modo l'evaporazione come una sorgente di elettricità. Servendosi del suo condensatore, egli aveva costatato che allorquando si fa rapidamente evaporare dell'acqua in un crogiuolo metallico, il vapore che si svolge è carico di elettricità positiva, mentre il crogiuolo rimane elettrizzato negativamente. Le più recenti esperienze di Pouillet e di altri fisici hanno dimostrato che la causa di questo svolgimento di elet-

tricità è di natura chimica e non fisica, dovendosi attribuire non già al cambiamento di stato, ma invece alla separazione dell'acqua dalle materie saline, che sempre questo liquido, in più o men grande quantità contiene. Infatti l'acqua distillata non dà luogo a sviluppo di elettricità nell'evaporarsi; e al pari di essa nessun altro liquido che riscaldato si volatilizza semplicemente senza subire alcuna decomposizione. Se invece si fanno evaporare delle soluzioni saline o acide, lo svolgimento dell'elettricità è immancabile, e accade nel modo stesso che il Volta avea stabilito; eccetto però se si tratta di soluzioni alcaline, nel qual caso il vapore si elettrizza negativamente, e la materia residua ed il crogiuolo positivamente.

Molti altri sono i casi di azione chimica accompagnata da sviluppo di elettricità, e fra questi meritano particolare attenzione la *combustione e l'azione chimica tra i metalli e gli acidi*.

Volta mostrò l'elettricità che si svolge nella combustione del carbone; Pouillet ha più recentemente mostrato quella della combustione del gas idrogeno. In ambedue i casi si hanno segni di elettricità negativa nel corpo combustibile, e di positiva nel prodotto della combustione.

Ma di un'immensa importanza sono i fatti scoperti dal Becquerel intorno allo svolgimento dell'elettricità nell'azione chimica degli acidi sui metalli. Per verificare questi fatti si fa uso di un elettroscopio a foglie d'oro munito del condensatore del Volta. Al piatto di questo apparecchio è unita una verga metallica terminata in un anello, in cui si pone un crogiuolo metallico *p* pieno di un liquido, la cui natura può variare (*Tav. II, Fig. 33*). S'immerge in questo liquido l'estremità di una lamina metallica che tiensi all'altro capo colle dita, e perciò in comunicazione col suolo, avendo ben cura che non tocchi in alcun punto il metallo del crogiuolo. Secondo la natura relativa del liquido e dei metalli della capsula e della lamina, trovasi accumulata ora elettricità positiva ed ora negativa sul piatto del condensatore. Se la capsula è di platino, vale a dire non è attaccabile dagli acidi, ed il liquido che contiene è acido solforico più o meno allungato, e la lamina in esso immersa è di zinco, di piombo, di ferro,

di rame, o di altro metallo attaccabile, l'elettroscopio indica sempre che la capsula si è caricata di elettricità positiva. Se invece si tiene in mano la capsula di platino, e si fa comunicare col piatto del condensatore la lamina immersa, questa comunica al medesimo dell'elettricità negativa. Dai quali risultati è dimostrato, che ogni volta che un liquido agisce sopra un metallo che vi è immerso, e cede uno dei suoi elementi per combinarvisi, v'è sviluppo di elettricità: l'elettricità positiva si porta nel liquido che ha eccitata l'azione chimica, mentre la negativa rimane nel metallo. Difatti l'elettricità positiva di cui si mostrava carica la capsula di platino, le era comunicata dal liquido in cui era immersa la lamina attaccata, e l'elettricità negativa di questa, per mezzo del corpo dell'operatore si spandeva nel suolo. Quando la capsula è fatta di un metallo attaccabile dall'acido, e la lamina immersa è di platino, allora la distribuzione dell'elettricità è inversa, vale a dire la carica negativa passa nel condensatore, e la positiva si spande nel suolo. Se poi tanto il metallo della capsula che quello della lamina fossero attaccabili dal liquido acido, allora vi sarebbero due azioni chimiche che agirebbero in direzione contraria, vale a dire quella dell'acido sul metallo della capsula, e quella dello stesso acido sul metallo della lamina: in virtù della prima azione la capsula si carica di elettricità negativa, e la positiva si spande nel liquido, da cui esce per la lamina metallica per ispandersi nel suolo; in virtù della seconda la capsula riceve dal liquido l'elettricità positiva e la lamina prende la negativa. Perciò il condensatore riceve al tempo stesso le due elettricità, e secondo che l'azione chimica che soffre la capsula è maggiore o minore di quella che subisce la lamina, esso si carica di elettricità negativa, ovvero di positiva.

Fenomeni Meteorologici dipendenti dall'elettricità statica.

X *Elettricità atmosferica.* Appena furono scoperti i mirabili fenomeni che può manifestare l'elettricità accumulata per mezzo della boccia di Leida e delle batterie elettriche, questi effetti furono trovati tanto simili a quelli del fulmine, che

tosto se ne scorse l'analogia. Non di meno passò molto tempo prima che l'esperienza la dimostrasse. Il celebre Franklin fu il primo che concepisse il mezzo d'impadronirsi dell'elettricità delle nubi, per renderla sensibile negli apparecchi allora noti; immaginando di valersi della facoltà delle punte, da lui scoperta, di scaricare a distanza i corpi elettrizzati. A quest'uopo si servì di un aquilone armato di punte, che in mezzo alla aperta campagna presso Filadelfia, lanciò verso le nubi procellose. Egli aveva attaccato all'estremità della fune dell'aquilone, un conduttore metallico, da cui sperava poter trarre qualche scintilla elettrica. Avendo tentato l'esperimento, rimase in principio deluso, finchè sopraggiunta una leggiera pioggia, la quale avendo bagnato la corda la rese conduttrice, ottenne l'aspettata scintilla. Questa memoranda esperienza, che tanto soddisfece l'autore, fino a moverlo, come si narra, alle lacrime, fu eseguita nel Giugno del 1752. Quasi contemporaneamente, o, come vogliono i fisici francesi, un poco avanti, Dalibart in Francia, ma dietro la scorta delle idee pubblicate dal Franklin, giunse ad un egual risultato valendosi, in luogo dell'aquilone, di un'asta di ferro di 13 metri di altezza, terminata in punta ed isolata nella sua parte inferiore.

Queste esperienze furono ben tosto ripetute da molti osservatori, ed i primitivi apparecchi furono anche assai perfezionati. Alla corda del Franklin si sostituì un filo metallico, e si fece terminare l'estremità inferiore del filo con un cordone di seta di due a tre metri di lunghezza. All'apparecchio del Dalibart si aggiunse un cappello metallico che ricuoprì la base isolatrice dell'asta metallica, onde difenderla dalla pioggia e così garantirne la coibenza; ed a fine di essere avvertiti anche in distanza del momento in cui l'apparecchio cominciava ad elettrizzarsi vi si unì uno scampanto elettrico disposto nel modo stesso di quello già da noi descritto a pagina 7. Fu inoltre situata presso la spranga una sfera metallica posta in sicura comunicazione col suolo, onde garantire l'osservatore dalle grosse scariche improvvise, le quali colpiscono sempre a preferenza la palla stessa. Richmann, professore a Pietroburgo, non avendo presa questa precauzio-

ne, fu ucciso in un'esperienza di questo genere, colpito in fronte da una scintilla.

Avendo così constatato l'identità dell'elettrico delle nubi con quello che si svolge nelle nostre ordinarie macchine, i fisici estesero assai le loro ricerche intorno all'elettricità atmosferica, e presero principalmente a indagare se l'aria in tempo sereno fosse carica di elettricità. Gli apparati di cui si fa uso ordinariamente per riconoscere l'elettricità dell'atmosfera consistono in elettrometri a foglie d'oro o a palle di sambuco sormontati da un'asta metallica più o meno lunga, e terminata in punta. Questi istrumenti portati in campagna all'aria libera, danno segni di elettricità solo quando si elevano nell'atmosfera, in modo che la loro asta vada incontro a strati d'aria, il cui stato elettrico sia superiore a quello che già possedeva. Il Volta usava di accendere un cerino sulla sommità dell'asta dell'elettrometro, e lo rendeva in tal modo molto più sensibile, probabilmente a motivo della maggior conducibilità dell'aria riscaldata dalla fiamma. Saussure, per esplorare l'elettricità atmosferica, si servì di un elettrometro, intorno all'asta del quale scorreva un anello metallico a cui era unito un filo pure metallico terminato all'altro capo con una palla di ottone. Lanciava questa palla verticalmente in alto colla mano, e sulla medesima passando l'elettricità degli strati superiori dell'atmosfera, veniva per mezzo del filo metallico a trasmettersi all'elettrometro. Becquerel sostituì alla palla metallica una freccia lanciata in alto per mezzo di una balestra. Volendo fare le osservazioni in un gabinetto, l'apparecchio si dispone nel modo seguente: si unisce l'elettrometro mediante un filo conduttore con una verga metallica isolata, terminata in punta e fissata nella parte superiore dell'edificio; e si dispone a piccolissima distanza dalla parte inferiore della sbarra isolata una palla metallica che comunichi in modo sicuro col terreno, onde su di essa vada a scaricarsi qualunque eccesso di elettricità che potrebbe accumularsi sulla sbarra.

Per mezzo di numerose osservazioni eseguite cogli apparati ora descritti, si è giunti ai risultati seguenti. L'atmosfera contiene elettricità libera non solo durante i temporali, ma sempre; ed essa ora è positiva ed ora negativa. Quando il

cielo è sereno, l'elettricità dell'aria è costantemente positiva; ma la sua intensità varia nelle diverse ore del giorno, e nelle diverse stagioni, come pure a seconda delle località. In generale l'elettricità dell'aria serena è più forte d'inverno che d'estate. Nelle differenti ore del giorno presenta le seguenti variazioni. Al sorgere del sole i segni elettrici sono deboli; ma crescono dalle 8 alle 11 a seconda delle stagioni, ed allora giungono ad un primo massimo; dopo di che rapidamente diminuiscono fino quasi all'ora del tramonto, e crescono di nuovo arrivando ad un secondo massimo poche ore dopo il tramonto; e pel restante della notte proseguono a diminuire. Queste variazioni periodiche derivano probabilmente dai cambiamenti dello stato igrometrico dell'aria nelle diverse ore del giorno. Infatti, la mattina, prima del sorgere del sole, l'umidità dell'aria si è quasi intieramente depositata verso il suolo; cosicchè l'elettricità degli strati superiori dell'atmosfera non può trasmettersi fino ai nostri apparecchi. Alzato il sole, la terra comincia a scaldarsi, l'umidità si diffonde in alto, e serve a trasmetterci l'elettrico degli strati elevati dell'atmosfera, e si ha così un primo massimo. Più tardi l'azione solare rende sempre più secca l'aria; gli strati superiori divengono sempre più isolati dagli inferiori, e l'elettroscopio per la troppa coibenza dell'aria in cui è immerso fornisce nuovamente debolissimi indizj di elettricità. Ma verso il tramonto l'aria di nuovo si satura di umidità, e cagiona il secondo massimo che abbiamo accennato. Si deve parimente attribuire al maggior grado di umidità dell'aria nell'inverno, la maggiore intensità elettrica che manifesta l'atmosfera in questa stagione.

L'elettricità positiva dell'aria serena è soltanto sensibile nei luoghi aperti: sotto gli alberi, presso le case e nel loro interno non se ne riscontra alcuna traccia. La sua intensità aumenta coll'elevazione.

Quando il cielo è coperto, l'atmosfera dà ora indizj di elettricità positiva ed ora di negativa. Avviene anche di sovente che l'elettricità cangi di segno parecchie volte in un giorno pel passaggio delle nubi elettrizzate. Nei giorni di temporale, di pioggia o di neve, l'atmosfera è ora elettrizzata positivamente ed ora negativamente, e le due elettricità si manife-

stano complessivamente per un numero di giorni presso che eguale. In quanto all'elettricità del suolo, Peltier si è assicurato che essa è sempre negativa, ma in vario grado, a seconda dello stato igrometrico e della temperatura dell'aria.

La scienza ignora tuttora come avviene che le nubi acquistino cariche elettriche tanto considerevoli. Certo è che a misura che una nube si addensa, la sua tensione elettrica aumenta. Forse ciò dipende perchè l'elettricità di cui ogni vescichetta vaporosa è fornita, scorre allora con facilità sulla nube, come sopra una massa unita e conduttrice, e si reca alla sua superficie. Può anche suppersi che le nubi agiscano a motivo della loro buona conducibilità, richiamando su di loro tutta l'elettricità sparsa negli strati prossimi dell'aria. Checchè ne sia di ciò, le cariche che accumulansi sulle nubi sono spesso così forti, da produrre tutti i mirabili fenomeni del temporale, vale a dire il lampo, il fulmine, il tuono, la grandine e la tromba.

Ma come avviene che sebbene l'atmosfera in cui si formano le nubi non contenga se non elettricità positiva, pure non tutte sono elettrizzate positivamente, e ve ne ha alcune cariche di elettricità negativa? Questo dipende da ciò che non tutto il vapore acquoso che si solleva nell'atmosfera viene direttamente elettrizzato da essa, ma una parte può anche elettrizzarsi per l'influenza di nubi già cariche di elettricità positiva. S'immagini per esempio una densa nebbia a contatto del suolo, su cui agisca per influenza uno strato di nubi elettrizzate positivamente: è manifesto che su di essa verrà ad accumularsi l'elettricità negativa, mentre la positiva si diffonderà nel terreno; e se allora per qualsiasi circostanza verrà ad elevarsi nell'atmosfera, quando sarà giunta in alto costituirà delle nubi negative.

Lampo e tuono. Tutte le volte che due nubi cariche di elettricità contrarie si avvicinano, accade fra di esse una scarica. La luce della medesima è il lampo, ed il fragore che l'accompagna è il tuono. Il lampo è costituito di luce bianca nelle regioni basse dell'atmosfera, mentre nelle elevate, dove l'aria è più rarefatta prende una tinta violacea, simile a quella della scintilla elettrica nel vuoto della macchina pneumatica. La sua lun-

ghezza è variabilissima, ma è talora di varie leghe: nell'aria i lampi seguono un cammino tortuoso o a zig-zag, il che si attribuisce alla resistenza che presenta l'aria compressa da una forte scarica, per cui la scintilla devia dalla linea retta per prendere la direzione nella quale la resistenza è minore. Infatti nel vuoto l'elettricità si trasmette in linea retta.

Si possono distinguere quattro specie di lampi: 1.° I lampi a zig-zag, che guizzano rapidamente sotto la forma di una striscia di fuoco serpeggiante ed a contorni ben distinti, i quali sono affatto simili alle scintille della macchina elettrica. 2.° I lampi che invece di esser lineari abbracciano tutto l'orizzonte, senza presentare verun contorno apparente ed aventi l'apparenza di una grande conflagrazione. Questi lampi, che sono i più frequenti, sembrano prodursi nel seno stesso della nube e rischiararne la massa. 3.° I lampi così detti di *caldo*, perchè brillano nelle più calde notti d'estate, senza che appaia alcuna nube sull'orizzonte e senza rumore. Questi, secondo Arago, sono prodotti dalla riflessione nell'aria di lampi ordinarij di qualche temporale molto lontano. 4.° I lampi che appariscono sotto la forma di un globo di fuoco; i quali si propagano lentamente, riuscendo talora visibili per più di dieci secondi. Questi globi spesso rimbalzano quando giungono in contatto del suolo, talora si dividono e scoppiano con immenso fragore. I lampi di questo genere sono rari, ma è stato osservato che quando il fulmine entra negli edificj non di rado assume questa forma. La loro origine non è conosciuta. La durata dei lampi delle prime tre specie non giunge ad un millesimo di minuto secondo, come può facilmente mostrarsi per mezzo degli apparecchi del Wheatstone, già da noi descritti.

Il tuono, che è la detonazione violenta che accompagna il lampo, si produce contemporaneamente a questo. Non di meno, bene spesso si osserva che passa un intervallo di parecchi secondi tra l'apparizione del lampo ed il fragore del tuono. Ciò dipende dalla differenza tra la velocità del suono, il quale percorre 337 metri al secondo, e quella della luce, la quale impiega un tempo inapprezzabile per giungere dalla nube all'occhio dell'osservatore. Per conseguenza il ru-

more si ode cinque o dieci secondi dopo veduto il lampo. secondo che la nube è distante dall'osservatore di 5 o di 10 volte 337 metri.

Il fragore del tuono risulta dallo scotimento prodotto nella nube e nell'aria dalla scarica elettrica. Vicino al luogo ove scocca il lampo, lo strepito del tuono è brusco e di breve durata. Più lungi si ode una serie di rumori che si succedono rapidamente. A maggiore distanza ancora, il rumore, debole in principio, si cangia in un rumore prolungato e d'intensità assai ineguale. Si sono fatte molte ipotesi per ispiegare questo fenomeno, ma nessuna di esse soddisfa pienamente. Alcuni lo attribuirono alla riflessione del suono sulla terra e sulle nubi; altri hanno considerato il lampo come una serie di scintille elementari producentesi a distanze più o meno grandi, ciascuna delle quali dia luogo a una detonazione particolare, e queste detonazioni giungendo successivamente all'orecchio, sarebbero la cagione del prolungamento del suono; e poichè sarebbero costrette a propagarsi in mezzi di differenti densità, produrrebbero un rumore inegualmente intenso. Infine si è anche attribuito questo fenomeno alle tortuosità stesse del lampo, ammettendo che avvenga una condensazione massima dell'aria ad ogni angolo saliente, il che produrrebbe l'ineguaglianza dei rumori.

Fulmine e suoi effetti. Il fulmine è la scarica elettrica che avviene tra una nube temporalesca ed il suolo. Quest'ultimo, sotto l'influenza dell'elettricità della nube si carica di elettricità contraria, e quando lo sforzo che fanno queste due elettricità per riunirsi vince la resistenza dell'aria, la scintilla scocca, il che si esprime volgarmente dicendo che *cade* il fulmine. Non sempre apparisce che il fulmine scenda dall'alto; talvolta si osserva che ha una direzione opposta. Poichè le attrazioni elettriche sono in ragione inversa dei quadrati delle distanze, deve necessariamente accadere che il fulmine cada sugli oggetti più vicini alla nube, vale a dire sui più elevati; e poichè l'elettricità predilige i buoni conduttori, le materie le più conduttrici saranno a preferenza colpite. Infatti si osserva che sono più generalmente colpiti dal fulmine, i campanili e gli elevati edifizj, gli alberi più alti e le sostanze

metalliche. Perciò è grande imprudenza il collocarsi sotto gli alberi durante il temporale.

Gli effetti del fulmine sono svariatisimi, però tutti della stessa natura di quelli delle scariche ottenute colle batterie elettriche, quantunque molto più intensi, e per così dire ingigantiti. Quando percuote i pezzi metallici, li fonde, ed in parte li volatilizza; o se non è stato abbastanza potente per tale effetto, li rompe e li sminuzza; ma il guasto che produce non è notevole che nei punti della massa metallica pei quali è entrato ed uscito. Quando penetra nel suolo fonde le materie silicee che trovansi sul suo passaggio, e si producono in tal guisa, nella direzione della scarica, dei tubi vetrificati che riceverono il nome di *tubi fulminei* o di *folgoriti*, i quali sono talvolta lunghi varj metri.

Gli effetti meccanici del fulmine sono notabilissimi, poichè si è veduto traslocare qualche volta a grande distanza masse molto pesanti, ridurre in frammenti i corpi poco conduttori i più saldi, e fare su di altri un certo numero di fori.

Quando il fulmine colpisce gli animali o l'uomo, li sbalordisce o li uccide; e ciò sventuratamente, non è tanto raro imperocchè i corpi umidi, quali appunto sono le membra degli animali, dopo i metalli, sono quelli che a preferenza sceglie il fulmine.

Il fulmine diffonde in generale ove passa un odore simile a quello del zolfo bruciato, ovvero di una materia fosforica. Quest'odore è stato da alcuni attribuito ad un composto d'ossigeno e idrogeno che si è creduto si formasse sotto l'influenza della scarica elettrica e che si è chiamato *ozono*; ma in seguito a più recenti indagini risulta che questo corpo altro non è che ossigeno in particolar modo modificato dall'elettricità.

Il fulmine nel traversar l'aria produce la combinazione di una piccola porzione dell'ossigeno e dell'azoto che la costituiscono, e la formazione di un poco d'acido nitrico. Infatti nelle acque delle grandi piogge temporalesche si riscontra sempre la presenza di quest'acido, combinato all'ammoniaca.

Fenomeno del contraccolpo. Non di rado accade che gli uomini e gli animali restino uccisi dal fulmine, senza che la scarica cada direttamente su di essi. Questo fenomeno è

conosciuto col nome di *contraccolpo*, e si produce nel modo seguente. Quando una nube temporalesca passa al di sopra del terreno, agisce per influenza su tutti i corpi situati alla sua superficie, e verso l'estremità superiore di essi attrae l'elettricità contraria alla propria, e respinge l'altra nel suolo. Così tutti i corpi che cuoprono un'estensione di paese proporzionale a quella della nube, e che possono essere molto lontani fra loro, sono tutti carichi d'elettricità dissimulata di nome contrario di quella libera della nube. Se avrà luogo l'esplosione sopra uno di questi corpi, o perchè più elevato, o perchè miglior conduttore, la nube sarà ad un tratto scaricata, e l'elettricità dissimulata raccolta sugli altri corpi passerà istantaneamente nel suolo, ovvero avverrà in essi una subitanea ricomposizione delle due elettricità, cosicchè se questo repentino passaggio di molta copia di elettricità, ovvero questa istantanea ricomposizione, avviene attraverso il corpo di un animale, vi produce gli effetti stessi della scarica diretta. Si può anche colla esperienza render sensibile questo fenomeno. Basta collocare ad una certa distanza da una macchina elettrica, una rana scorticata, e porla col mezzo di una catenella in comunicazione col suolo: ogni volta che si cava dalla macchina una scintilla, la rana prova una violenta scossa.

Grandine. Uno dei fenomeni meteorologici più notabili a cui sembra prender parte l'elettricità si è la grandine: infatti essa di ordinario precede o accompagna le piogge temporalesche. La grandine cade specialmente in primavera o in estate, e nelle più calde ore del giorno; quasi mai di notte. La formazione della grandine è rimasta lungo tempo inesplicata; e difatto riusciva molto arduo rendersi conto della costituzione dei grani che la formano. Sono questi di varia grandezza, ma talora molto considerevoli, e se ne sono visti perfino della grossezza di uova di piccione, e del peso di più di sei once. Sezionati che sieno, mostrano un nucleo di materia nevousa opaca, circondato da uno o più strati di ghiaccio trasparente. Volta, a fine di spiegare la formazione della grandine, immaginò la seguente teoria, la quale è in molte parti soddisfacente; in alcune però è oscura. Per render conto del forte raffreddamento necessario alla congelazione della nube grandinifera, in re-

gioni non tanto elevate, nelle stagioni e nelle ore più calde, egli attribuivale alla rapida evaporazione della parte superiore della nube, favorita dall'intenso irraggiamento solare, ma ammetteva che fosse essenziale condizione di tal congelamento, una perfetta siccità nell'aria sovrastante alla nube, senza di che il vapore acquoso appena formatosi si sarebbe condensato, ed il raffreddamento non avrebbe potuto essere molto intenso. Sotto tali azioni si formerebbero adunque secondo il Volta, i fiocchi di neve che generano i nuclei dei pezzi di grandine. Per ispiegare poi il loro accrescimento, e la formazione degli strati di gelo che li ricuoprano, fa intervenire l'elettricità. Egli ammette necessaria l'esistenza di due nubi sovrapposte, cariche di elettricità contrarie; e la superiore delle quali si sarebbe prodotta colla evaporazione della seconda. Fra queste due nubi si stabilirebbe un fenomeno analogo a quello della danza elettrica. I fiocchi nevosi della nube inferiore sarebbero attratti dalla superiore; quindi respinti, e così di seguito, di modo che ad ogni nuovo contatto colle nubi verrebbero a ricuoprirsi di nuovo vapore condensato e congelato, che darebbe luogo alle croste che ne circondano il nucleo; finchè poi acquistando un peso molto considerevole, sarebbero costretti a cadere.

In questa ingegnosa teoria, ciò che v'ha di strano, non è già che l'elettricità possa sollevare, fra due nubi, dei grossi pezzi di ghiaccio, imperocchè ci sia ben nota la rimarchevole potenza meccanica dell'elettrico; ma egli è piuttosto l'ipotesi che due nubi tanto fortemente cariche di elettricità opposte, possano rimanere da presso senza che avvenga tra di esse una scarica. Potrebbe suppersi che in certe particolari circostanze delle nubi, ovvero per una distribuzione particolare della elettricità su di esse, ciò possa accadere. Quello che è certo si è che i grani della grandine si sostengono per un certo tempo nell'aria, e v'ha chi ha inteso sulla cima de' monti, essendo in mezzo a nubi temporalesche, il rumore prodotto dall'urto o dallo sbattimento dei grani fra loro durare assai tempo, prima della caduta della grandine.

Trombe. Si chiama *tromba* una nube densa, animata da diversi moti, e di una forma, che suol essere più spesso quella

di un cono rovesciato colla punta in basso. Siffatta nube spinge all'intorno, con grande violenza e fragore, torrenti di pioggia, mista a grandine e a fulmini; l'aria che la circonda è agitata con tal forza da sradicare gli alberi, rovinare le case, e trasportar seco ogni oggetto che non opponga una grande resistenza. Se la tromba passa al di sopra della superficie delle acque, le solleva, come se le aspirasse, e così avviene di sovente in mare. È singolare che allorquando una tromba marina viene colpita da una palla di cannone, ordinariamente si spezza; sparisce la parte inferiore, e la superiore sembra come sospesa alle nubi. Secondo Peltier, la tromba non è altro che una trasformazione particolare del temporale, un nuovo modo con cui si scarica l'elettricità delle nubi. Altri meteorologi suppongono invece che sia prodotta dall'azione di due venti opposti che passino l'uno accanto all'altro; il che avverrebbe in un modo simile a quello con cui produconsi quei piccoli vortici di polvere, che ci è dato spesso osservare, allorquando spira qualche vento foriero di burrasca.

Parafulmine. L'invenzione del parafulmine è un'applicazione della proprietà delle punte rispetto all'elettrico, dovuta al genio di Franklin. Esso consiste in una lunga asta di ferro terminata superiormente in punta aguzza, la quale si eleva sul punto culminante dell'edificio che è destinato a preservare dal fulmine, e comunica poi col terreno mediante una serie di barre di ferro, che scendono lungo i muri dell'edificio stesso e vanno a terminare nel suolo. *L'asta o palo* del parafulmine ha ordinariamente l'altezza di 6 a 7 metri, e la sua sezione alla base, è un quadrato di 5 a 6 centimetri di lato. Le si dà questa grossezza, affinchè non si fonda quando il fulmine la colpisce. La sua punta dev'essere bene aguzza, e di ordinario si fa di platino o di rame dorato, onde l'ossidazione non la alteri. *Il conduttore* che dal piede dell'asta scende fino al suolo, e vi penetra per una certa profondità, dev'essere fatto di barre di ferro, bene unite fra loro, e talora si preferisce formarlo mediante corde di filo di ferro simili a quelle che si adoprano pei ponti sospesi. Deve pescare in un pozzo, e per meglio stabilire la comunicazione col suolo, si divide all'estremità in due o tre ramificazioni. Se non vi sono pozzi in vicinanza,

si fa nel suolo un foro profondo quattro o sei metri, e dopo avervi introdotto l'estremità del conduttore si riempie di braccia, che ben conduce l'elettricità. È necessario aver grande attenzione che il conduttore non presenti alcuna soluzione di continuità in tutta la sua estensione; e di più se nell'edificio che si munisce di parafulmine v' hanno pezzi metallici assai considerevoli, come lastre di piombo, grondaje metalliche od altro, si deve aver cura di farli comunicare col conduttore del parafulmine, onde non avvengano delle scariche laterali, che potrebbero recare lo stesso danno del fulmine.

Il modo col quale agiscono i parafulmini è il seguente. Essi vengono elettrizzati per influenza dalle nubi temporalesche; l'elettricità dello stesso nome di quella della nube è respinta nel suolo, mentre l'elettricità di nome contrario è richiamata nella parte più vicina dell'asta; ma quivi non può accumularsi a motivo della punta di cui l'asta è fornita, ed è anzi costretta a sgorgare per essa nell'atmosfera, e così a lentamente neutralizzare quella della nube. Perciò i parafulmini non solo impediscono l'accumulazione della elettricità sugli edifici a cui sovrastano, ma tendono ancora a ridurre le nubi temporalesche nello stato naturale, i quali effetti concorrono a prevenire la caduta del fulmine. Nondimeno lo svolgimento della elettricità è talvolta sì abbondante che il parafulmine riesce insufficiente a scaricare il suolo, ed il fulmine scoppia; ma allora la scarica cade sul parafulmine a motivo della sua maggiore conducibilità, e l'edificio è preservato.

L'esperienza ha insegnato che un'asta di parafulmine protegge efficacemente all'intorno uno spazio circolare di un raggio doppio della sua altezza. Per conseguenza un edificio della lunghezza di 64 metri potrebbe esser difeso da due aste di 8 metri di altezza.

Cause dell'elettricità atmosferica. Volta attribuiva l'elettricità atmosferica alle abbondanti evaporazioni che accadono alla superficie della terra. Abbiamo già descritto le esperienze di questo insigne fisico, dipoi ripetute dal Pouillet, nelle quali è provato che allorquando si evapora una soluzione salina, il vapore che si svolge riman carico di elettricità po-

sitiva, mentre il residuo resta elettrizzato negativamente. Lo stesso avverrebbe adunque in natura, dove anche le combustioni e forse la vegetazione concorrerebbero allo stesso effetto.

Molti fisici moderni attribuiscono all'elettricità atmosferica una causa molto più generale, e la fanno risiedere nell'elettricità propria della terra. Vedremo infatti che in realtà la terra mostra di esser percorsa da grandi correnti elettriche; cosicchè potrebbe agire per influenza sulla elettricità naturale dell'atmosfera, separandone i due fluidi nel modo ordinario. Questa ipotesi è appoggiata da un fatto costatato da Saussure e quindi da Peltier, che ha assai importanza. Ecco in che consiste. Se si prende un elettroscopio, e si porta in giorno sereno all'aria libera, si osserva che allorquando s'innalza di qualche metro al disopra del punto in cui non dava alcun segno di tensione, dà tosto dei segni di elettricità positiva; poi quando si abbassa, le foglie tornano a zero, per riaprirsi, dando segni di elettricità negativa, quando si abbassa oltre al punto in cui si era posto allo stato naturale. Ciò avviene a tutte le altezze, e può attribuirsi all'influenza della elettricità della terra, la quale supposta negativa, darebbe luogo ad una accumulazione di elettricità positiva nell'alto dell'atmosfera, cosicchè nel sollevare l'elettroscopio si avrebbero necessariamente dei segni di cotesta elettricità, mentre nell'abbassarlo, vale a dire nell'avvicinarlo alla terra, dovrebbero prima sparire i segni già comparsi, per quindi apparire quelli dell'elettricità propria della terra.

Può infine supporre che l'elettricità atmosferica non sia prodotta da una sola causa, ma da più, tra le quali quelle da noi indicate sarebbero le principali.

2.^o *Elettricità dinamica.*1.^o *Del galvanismo, ossia delle correnti elettriche.*

Divideremo questa prima parte della elettricità dinamica in cinque capitoli. Nel primo tratteremo della produzione delle correnti elettriche; nel secondo della loro propagazione; nel terzo dei loro effetti; nel quarto dell'azione reciproca delle correnti; e nell'ultimo dell'induzione elettro-dinamica.

4.^o *Produzione delle correnti.*

Svolgimento di elettricità per contatto. Fra le sorgenti dell'elettricità ve ne hanno alcune colle quali una volta eccitato l'elettrico, riesce facilmente costituirlo in *corrente* e farlo perseverare in tale stato finchè la forza eccitatrice continua ad agire. Il contatto dei corpi eterogenei, ed in special modo quello dei metalli differenti è una di queste sorgenti. È al grande fisico italiano Volta che le scienze, le arti, e tutta la civile società debbono questa insigne scoperta, dalla quale son nate tante utili e meravigliose applicazioni. Ma di ciò diremo in appresso: per ora vogliamo indicare come avvenga lo *svolgimento dell'elettricità per contatto*; e quindi per mezzo di esso, la produzione della corrente elettrica.

Ecco le esperienze colle quali Volta giunse a costatare lo svolgimento dell'elettricità nel contatto dei metalli. Se prendonsi due dischi metallici *A* e *B* (*Tav. II, Fig. 36*) di natura diversa, come per esempio l'uno di zinco e l'altro di rame, ben levigati e guarniti di manichi coibenti, e dopo averli applicati l'uno contro l'altro, tenendoli pei manichi, si separano, trovansi carichi d'elettricità contrarie; il primo d'elettricità positiva, e il secondo di negativa; ma poichè la loro tensione elettrica è debolissima, fa d'uopo accumulare le piccole quantità d'elettricismo svolte ad ogni contatto, per mezzo del condensatore. Si giunge così dopo un certo numero di contatti a caricare l'istrumento, non solo in modo da riconoscere la spe-

cie di elettricità acquistata dal disco, ma ben anco a produrre delle scintille. Affinchè questa esperienza riesca, fa d'uopo che il piatto collettore sia formato dello stesso metallo del disco col quale si tocca, e che non sia verniciato nei punti di contatto. Quando il piatto collettore e il disco sono di natura differente, convien porre sul piatto collettore un pezzo di carta umida; allora posando su questa il disco, la sua elettricità passa nel piatto, ed è così evitato l'effetto dovuto al contatto dei due metalli diversi costituenti il disco ed il piatto. Si potrebbe anche fare questa esperienza lasciando il condensatore isolato, e toccando nello stesso tempo i due piatti coi due dischi.

Potrebbe suppersi che nelle accennate esperienze, l'elettricità fosse svolta dalla pressione; ma se si saldano coi loro estremi una lamina di zinco con una di rame (*Tav. II, Fig. 37*) trovansi anche in questo caso oppostamente elettrizzate. Se si tiene in mano la lamina di zinco e si tocca con quella di rame il piatto collettore del condensatore, che supporremo pure di rame, si vede che il condensatore acquista elettricità negativa, e prende la sua massima carica con un sol contatto, e quindi che passa più elettricità nel condensatore di quello che se la lamina di zinco fosse isolata. Se si tenesse la lamina coll'estremità rame, e si toccasse il piatto collettore di rame coll'estremità zinco, non si giungerebbe mai a caricare il condensatore; e non vi si perverrebbe se non interponendo fra il piatto e la lastra un pezzo di carta umida, la quale impedisse il contatto de' due metalli eterogenei, mentre lasciasse passare l'elettricità positiva accumulata sul zinco della doppia lamina. Da ciò che precede, è evidente che, se si toccasse direttamente il piatto collettore con una lamina di zinco, che si tenesse in mano, si caricherebbe nella stessa guisa il condensatore. Operando così con diversi metalli, si trova che il piombo, lo stagno, il ferro, il bismuto e l'antimonio, danno come il zinco elettricità negativa al condensatore, mentre essi prendono l'elettricità positiva; e l'oro, l'argento il platino comunicano elettricità positiva, mentre si elettrizzano negativamente.

Volta ha distribuito i metalli nell'ordine seguente, a seconda della facoltà che hanno di prendere la elettricità positiva al contatto dei metalli che li seguono:

- | | |
|---------------|---------------|
| 1. Zinco. | 8. Ottone. |
| 2. Piombo. | 9. Rame. |
| 3. Stagno. | 10. Cobalto |
| 4. Antimonio. | 11. Platino. |
| 5. Ferro. | 12. Mercurio. |
| 6. Bismuto | 13. Oro. |
| 7. Bronzo. | 14. Argento. |

Da questa disposizione risulta, che il zinco è elettro-positivo rispetto a tutti i metalli che lo seguono; che il piombo è elettro-negativo rispetto al zinco, ma elettro-positivo rispetto agli altri metalli; e così successivamente. Inoltre è chiaro che lo sbilancio elettrico, derivante dal contatto di due metalli diversi, sarà tanto maggiore quanto più le materie poste a contatto sono distanti nella serie. Nel contatto dello zinco col ferro infatti si ha una differenza di stati elettrici minore che in quello del zinco col rame, e in questo minore che nel contatto dello zinco coll'argento. È da osservarsi per altro che alcuni fisici moderni, come Marianini e Pouillet, distribuiscono i metalli in un ordine un poco diverso da quello indicato dal Volta, ma tutti fanno cominciare la serie dal zinco, e la fanno terminare coi metalli nobili, oro, argento e platino. I metalli non sono i soli corpi che divengano elettrici nel reciproco contatto, ma in generale tutti i corpi di natura diversa; non di meno pei corpi non metallici le tensioni sono generalmente così deboli, che fa d'uopo d'istrumenti sensibilissimi per riconoscerle.

Teoria di Volta della forza elettromotrice. Onde spiegare i fatti fin qui esposti, Volta suppose che nel contatto dei corpi eterogenei, si sviluppasse una forza particolare, mercè la quale uno di essi si caricasse di elettricità positiva, l'altro di elettricità negativa; e poichè egli ragionava nell'ipotesi di un sol fluido, ammetteva che l'uno acquistasse elettricità, l'altro la perdesse. A questa forza diede il nome di *forza elettromotrice*; e siccome la medesima svolgevasi con maggiore intensità nel contatto de' metalli o de' corpi meglio conduttori, chiamò questi *perfetti elettromotori*, mentre disse *imperfetti elettromotori* quei corpi nei quali la forza elettromotrice sviluppavasi in minor grado, come appunto avviene nel contatto dei liquidi e

dei corpi umidi, che egli chiamò anche *conduttori di seconda classe*.

La forza elettromotrice non si limita a svolgere elettricità nel contatto di due metalli eterogenei; essa opera anche impedendo la riunione dei due stati elettrici contrarj, che averrebbe mercè la buona conducibilità de' due metalli. V'ha dunque in una *coppia voltaica*, e così chiamasi la riunione di due metalli eterogenei, un antagonismo tra la forza elettromotrice e l'attrazione delle due contrarie elettricità; ma tra queste due forze opposte si stabilisce bentosto un equilibrio, mercè il quale l'accumulazione delle due contrarie elettricità ha un determinato limite. Se si rappresenta con $+1$ l'elettricità positiva dello zinco, e con -1 quella negativa del rame, la differenza 2 dello stato elettrico di questi due metalli è una quantità costante che serve di misura alla forza elettromotrice stessa. Se uno de' due metalli fra i quali si è prodotta questa forza, perde il suo stato elettrico per il contatto col suolo, ossia lo riduce a zero, non v'ha equilibrio nella coppia finchè la carica dell'altro metallo non è divenuta doppia di prima. Difatto sarà allora soltanto che la differenza de' due stati elettrici eguaglierà la misura della forza elettromotrice.

Allorquando si opera con due dischi muniti di manichi coibenti, dei quali se ne porta uno al condensatore, ad ogni nuovo contatto la forza elettromotrice ristabilisce la primitiva differenza da lei indotta fra gli stati elettrici de' due dischi, e restituisce sempre la stessa carica a quel disco che l'avea perduta nel contatto del piatto collettore; sicchè dopo molti ripetuti contatti, il condensatore si trova fornito di una carica assai considerevole. Quando invece si tocca il piatto collettore colla porzione rame della doppia lastra, mentre se ne tiene in mano lo zinco, il piatto che tocca il rame prende in virtù della forza elettromotrice, la stessa tensione che ha il rame della coppia; cosicchè acquista in un sol contatto la sua massima carica, la quale è necessariamente maggiore di quello che se la lamina zinco fosse isolata. Quando infine la porzione zinco della lamina doppia tocca il piatto collettore di rame, mentre la porzione rame è tenuta in mano e comunica col suolo, mancano gli effetti della forza elettromotrice,

imperocchè il zinco si trova in mezzo a due forze elettromotrici eguali, dirette in contrario verso, le quali perciò si distruggono. Ma interponendo un corpo umido, un conduttore di seconda classe, fra lo zinco della lamina e il rame del condensatore, cessa da uno dei lati l'azione della forza elettromotrice, ed il corpo interposto conduce sul condensatore l'elettricità sviluppata sul zinco dalla forza elettromotrice che agisce dall'altro lato.

Vediamo adesso come l'elettricità svolta nel contatto di due metalli diversi, e accumulata in essi possa mettersi in circolazione, o in altri termini, possa dar luogo alla *corrente elettrica*. S'immagini di avere una lastra doppia di zinco e rame, ricurva ed immersa colle due estremità in un liquido conduttore (Tab. II, Fig. 38), qual sarebbe l'acqua acidulata con acido solforico. Nei punti in cui i due metalli si toccano direttamente, la forza elettromotrice conserva, riproduce sempre la stessa differenza di stati elettrici, la quale è al tempo stesso distrutta dal liquido conduttore. Nei primi due le due elettricità si separano, nel secondo le due elettricità si riuniscono. Volta, che ammetteva un sol fluido elettrico, diceva che nelle circostanze ora indicate, ha luogo una vera *circolazione di elettricità*, la quale nella coppia metallica va dal metallo negativo al positivo, vale a dire dal rame al zinco, e da questo per la via del conduttore umido, ritorna al negativo per ripassare al positivo.

Ma il fatto indicato è generalissimo: ogni volta che due metalli qualunque riuniti in alcuni punti vengono separati in altri da un liquido, formano un *circuito* percorso *continuamente* dalla scarica elettrica, o, in altri termini, dalla *corrente*. Adoperando due liquidi diversi, come per esempio un acido ed un alcali, ed un sol corpo conduttore di prima classe, come un arco di argento, Volta trovò che anche in questo caso la forza elettromotrice si sviluppava, e che si produceva la corrente. Egli chiamò coppia di second'ordine questa disposizione.

Pila Voltaica. Vediamo adesso in qual modo giunse Volta a moltiplicare gli effetti della forza elettromotrice, aggiungendo quelli di molte coppie voltaiche; diciamo adunque in

che consiste quel celebre strumento noto col nome di *pila voltaica*.

Immaginiamo situata sopra un piano isolatore una coppia formata di due dischi di rame e zinco, col primo al di sotto e l'altro sopra; sia posto su questo uu disco di cartone o di panno inzuppato di acqua acidulata, e al di sopra di questo un'altra coppia simile alla precedente e nella stessa guisa disposta. Gli effetti delle due coppie si uniscono, e le cariche raddoppiansi. Se aggiungeremo un'altra coppia alle precedenti, avendo sempre cura d'interporre un disco di panno bagnato e di disporre i suoi elementi nello stesso ordine, gli effetti saranno triplicati; e se proseguiremo ad ammontar coppie nel piliere anderemo anche successivamente aumentando le cariche. Troveremo sull'estremo zinco della colonna accumulata tutta l'elettricità positiva svolta dall'apparecchio, e sull'estremo rame tutta l'elettricità negativa (*Tav. II, Fig. 39*).

Il ragionamento che condusse Volta a questa scoperta, era fondato interamente sull'ipotesi che la forza elettromotrice di una coppia di rame e zinco non fosse punto alterata, supponendo di dare a questa coppia, come ad un corpo conduttore qualunque, una certa carica di elettricità positiva e negativa. Supponiamo di avere sul zinco $+1$ di elettricità positiva, e sul rame -1 di elettricità negativa, cosicchè la differenza 2 dei due stati elettrici misuri la forza elettromotrice della coppia stessa. Se allora si comunichi al sistema una quantità qualunque di elettricità, Volta ammetteva che essa si distribuisse egualmente sui due corpi, come sopra un corpo conduttore qualunque, per cui l'effetto della forza elettromotrice non era per nulla alterato, in guisa che fra i due metalli sussisteva sempre quella differenza di stati elettrici che misura la forza elettromotrice. Se per esempio si comunica al sistema una quantità 20 di elettricità positiva, si avrà sullo zinco $20 + 1$ di elettricità positiva, ossia 21, e sul rame $20 - 1$, ossia 19; ond'è che la differenza tra i due stati elettrici primitivi si conserva sempre eguale a 2. Posto ciò, è chiaro che se sopra una coppia isolata, nella quale si abbia sul zinco $+1$ di elettricità positiva, e sul rame -1 di elettricità negativa, si porrà, mediante un disco di panno bagnato, un'altra

coppia simile alla precedente, l'equilibrio non sussisterà finchè sull'ultimo zinco del sistema non vi sarà $+ 2$ di elettricità positiva e sull'ultimo rame $- 2$ di elettricità negativa, cosicchè la differenza dei loro stati elettrici sia doppia della forza elettromotrice, mentre in ciascuna coppia si conservi sempre la stessa, vale a dire eguale a 2. In tal sistema, per soddisfare a questa condizione, farà d'uopo che lo stato elettrico del zinco e del rame intermedj sia eguale a 0 (*Tav. II, Fig. 40*). Se le coppie saranno tre farà d'uopo per l'equilibrio che l'ultimo rame abbia $- 3$ di elettricità negativa, e l'ultimo zinco $+ 3$, e in tal caso la distribuzione dell'elettricità nel sistema sarà quella indicata dalla fig. 41. Infine seguitando a disporre delle coppie l'una sopra l'altra nello stesso ordine, l'equilibrio elettrico sussisterà sempre nelle stesse condizioni, in guisa che la differenza tra lo stato elettrico del primo rame e dell'ultimo zinco sarà eguale a tante volte la forza elettromotrice quante sono le coppie poste una sopra l'altra.

Egli è chiaro adunque, dopo quanto abbiamo esposto, che nella *pila isolata*, quale si è quella ora descritta, la metà inferiore del piliere è carica di un'elettricità e l'altra metà di elettricità contraria, e le cariche vanno gradatamente aumentando verso le estremità, essendo minime nel mezzo, od anche nulle allorquando la pila ha un numero pari di coppie.

Se poi si costruisce la pila, mettendo la sua estremità inferiore in comunicazione col suolo, è chiaro che lo stato elettrico dell'ultimo disco sarà zero, e che la pila si caricherà di elettricità positiva o di negativa, secondo che la medesima comincerà col rame o col zinco. Cominci infatti col rame; converrà che lo zinco posto al di sopra acquisti $+ 2$ di elettricità positiva: se vi porremo sopra un'altra coppia, farà d'uopo per l'equilibrio elettrico che l'ultimo zinco abbia $+ 4$ di elettricità positiva, ed il rame posto immediatamente al di sotto di esso $+ 2$ della stessa elettricità. Così accumulando altre coppie, la carica positiva della pila anderà aumentando colla stessa progressione, e nel modo indicato dalla fig. 42. Se la pila fosse montata inversamente, vale a dire se lo zinco comunicasse col terreno, la distribuzione della elettricità sarebbe la stessa; ma la carica sarebbe negativa.

Le pile che abbiamo ora descritte, e di cui abbiamo dato la teoria secondo i principj del Volta, diconsi *pila a colonna*. In quella isolata, le estremità cariche di elettricità contrarie chiamansi *poli*; i quali diconsi *positivo* o *negativo* secondo la specie di elettricità di cui sono carichi. Onde ottenere la circolazione dell'elettrico in questa pila, fa d'uopo riunire i due poli mediante un arco metallico. Quest'arco o circuito si suol comporre di due parti che comunicano con una loro estremità coi due poli della pila e che si riuniscono assieme colle altre due a fine di completare il circuito (*Tav. II, Fig. 43*). Queste due parti chiamansi *reofori* o *elettrodi*. Nella pila comunicante col suolo, è necessario che le colonne siano due e disposte in senso inverso onde avere i due poli in alto. In ogni caso, allorchando si toccano le due estremità dei reofori della pila, colle mani inumidite, si hanno delle scosse; se pongonsi queste stesse estremità a contatto delle tempie, avendo cura di chiudere precedentemente gli occhi, vedesi un baleno di luce; e se uno di essi si mette invece a contatto della lingua, lasciando l'altro applicato in un punto qualunque della testa, si sente anche un sapore acido particolare. Se poi si fanno comunicare i reofori della pila coi muscoli ed i nervi di un cadavere recente, vedesi questo violentemente contrarsi. Questi e molti altri mirabili effetti che vedremo potersi ottenere colla pila, mostrano che attraverso i reofori della medesima scorre un torrente di fluido elettrico. In generale si ammette che l'elettricità scorra dal polo positivo al negativo nei reofori, e nel verso contrario nell'interno della pila.

Cenni storici intorno all'invenzione della pila. Luigi Galvani professore di anatomia a Bologna avea, nel 1790, intraprese alcune ricerche sulla irritabilità degli organi muscolari di alcuni animali per l'elettrico svolto dalla macchina ordinaria o dall'elettroforo. Si narra, che l'illustre professore avesse per quelle sue indagini preparato diverse rane, cui metteva a nudo tutti i muscoli delle estremità posteriori e parte della midolla spinale coi nervi lombari, e per meglio maneggiarle avea fatto passare tra la spina dorsale ed i nervi un uncino di rame. Avvenne un giorno, che avendo egli sospeso per gli uncini alla ferriata di un balcone alcuni di quei cadaveri così pre-

parati, si accorse che talora provavano delle convulsioni spontanee. Maravigliato dal fenomeno, pensò dapprima che ne fosse causa l'elettricità atmosferica; ma poscia esaminatolo con maggiore attenzione si accorse che accadeva ogni volta che le coscie di quegli animali, spinte dal vento, venivano a contatto delle verghe di ferro della ferriata. Galvani afferrò sagacemente l'importanza di questo fatto, e si applicò a determinare con esattezza le circostanze atte a riprodurlo, e riconobbe che tutto si riduceva a far comunicare i nervi coi muscoli della rana con due lamine o fili metallici od anche con un sol metallo. Ciò stabilito credè l'illustre italiano di ravvisare un fluido proprio della vita, ed esistente nei muscoli e nei nervi, il quale si metteva in circolazione, facendo comunicare quelle parti mediante un arco metallico. Gli animali, secondo il concetto del Galvani agivano a guisa di una bottiglia di Leida, di cui i nervi ed i muscoli erano le armature. La fama di questa singolare scoperta si sparse bentosto per tutta Europa, ove eccitò una indicibile ammirazione. Dovunque facevasi a gara a ripetere quelle esperienze, a variarle ed ingrandirle. Si credeva da molti di avere scoperto il principio della vita, e si sperava persino di poter giungere a governarlo. Il nuovo supposto fluido fu chiamato *galvanico*, e la teoria dell'illustre bolognese acquistò ovunque un'immensa voga. Si riconobbe bentosto una grande analogia tra il fluido elettrico ed il galvanico, imperocchè giammai ottenevansi le contrazioni nelle rane allorquando si stabiliva la comunicazione dei loro muscoli e dei loro nervi mediante corpi cattivi conduttori. Tutti questi nuovi fatti trascinavano anche le migliori menti ad ipotesi ardite e a mille divagazioni, quando un genio potente sorse ad impadronirsene, a mostrarli nel loro vero aspetto, e a ricondurre gli spiriti sulla strada del vero. Questi fu Alessandro Volta, professore di fisica a Pavia, e già celebre per molte scoperte di elettricità, e per l'invenzione dell'elettroforo e del condensatore.

Volta nel ripetere le esperienze del Galvani notò con mirabile acume una condizione del fenomeno, la importanza della quale era sfuggita ad ogni altro osservatore. Egli si accorse che allorquando l'arco conduttore, che stabilisce la co-

municazione tra i muscoli ed i nervi è di un sol metallo, le contrazioni sono sempre poco sensibili, mentre che sono forti quando il detto arco è composto di due metalli. Da ciò trasse la conseguenza, che il fluido posto in giuoco in quelli esperimenti, non proveniva dai muscoli e dai nervi dell'animale, sìvero dai due differenti metalli coi quali veniva posto in contatto, ed altro non era se non elettricità. La nuova teoria del Volta incontrò in principio molta opposizione. I seguaci del Galvani senza negare l'efficacia dei due metalli, obiettarono che la loro eterogeneità non era condizione essenziale del fenomeno, e che un metallo solo era sufficiente ad eccitare le contrazioni. Volta replicava, che per quanto un metallo possa apparire omogeneo, in realtà non lo è mai in un modo assoluto, e mostrava come bastasse conficare un metallo purissimo sopra un altro, perchè le poche particelle eterogenee che vi aderivano ne aumentassero sensibilmente l'efficacia: inoltre supposto anche un metallo assolutamente puro, non doveva esso agire, tosto che veniva in contatto dei muscoli e dei nervi, attesa l'eterogeneità dei contatti? Infine, soggiungeva essere la sostanza dei muscoli e quella dei nervi assai differenti tra loro per produrre elettricità nel toccarsi; difatti bastava ripiegare i muscoli craniali sui nervi lombari per ottenere sensibili contrazioni nella rana.

L'idea dello svolgimento dell'elettricità nel contatto delle sostanze eterogenee si accreditava lentamente: la severità delle teorie fisiche reclamava delle prove più dirette e più decisive, e Volta giunse a mostrarle mediante il suo condensatore, vero microscopio dell'elettricità, mercè il quale potè accumulare e render sensibili le piccole cariche ottenute col semplice contatto di due metalli diversi. Nè qui si arrestò il suo genio inventivo; chè non soddisfatto di aver resa evidente la verità del nuovo principio fisico, volle anche renderne grandiosi i risultati, e a ciò giunse immaginando quel mirabile apparato della pila, di cui avremo luogo in breve di conoscere i portentosi effetti.

Noi abbiamo già esposta la teoria di questo istrumento secondo i principj del Volta. Dobbiamo peraltro soggiungere che in seguito dei grandi progressi fatti in questi ultimi anni

dalla scienza, quella teoria non è più generalmente accettata dai fisici; e la causa dello svolgimento della elettricità nella pila non più si attribuisce alla forza elettromotrice, ma alle azioni chimiche che si manifestano tra i metalli ed il liquido che li bagna. Ma quando poco sopra dicevamo che Volta colla sua teoria avea ricondotto le menti nella strada del vero noi non erravamo, imperocchè se il contatto non è la causa immediata dell'azione, ne è non di meno la mediata, essendochè le azioni chimiche abbiano bisogno per manifestarsi dell'intimo contatto dei corpi. Inoltre, se oggi è indubitato che gli effetti della pila sono principalmente dovuti alle azioni chimiche, non è anche provato in modo certo, che il semplice contatto de' corpi eterogenei, come di due metalli, non dia luogo a svolgimento di elettrico. Ma comunque tali fatti possano essere interpretati, resterà sempre al nostro Volta la gloria di avere inventato l'istrumento il più meraviglioso, il più vario nei suoi effetti, e fors'anche il più potente di quanti furono creati dal genio dell'uomo.

Differenti specie di pile Voltaiche. Volta dopo aver costruito la sua pila a colonna, si accorse bentosto che la medesima presentava parecchi inconvenienti nella pratica, quali sono il tempo lungo per montarla, e la rapida disseccazione dei dischi di panno bagnato, atteso il peso dei dischi metallici sovrapposti. Onde ovviarvi immaginò *l'elettromotore a corona di tazze*, consistente in parecchie tazze o bicchieri di porcellana o di vetro, pieni del liquido conduttore, nei quali sono posti a cavalcioni tanti archetti, formati metà di zinco e metà di rame saldati insieme (*Tav. II, Fig. 44*), in modo che in una stessa tazza peschi l'estremità zinco di un archetto e l'estremità rame dell'altro archetto. È chiaro che in questa pila il liquido delle tazze fa l'ufficio dei dischi di panno bagnato. La circolazione della corrente avviene nella stessa guisa che nella pila a colonna, vale a dire dal rame al zinco nell'interno della pila, e dal zinco al rame nell'arco interpolare.

Un'altra pila, che non differisce essenzialmente da quella a corona di tazze, ma che facilita le operazioni, si è la *pila a cassetta* rappresentata dalla figura 45, la quale consiste in una cassetta di majolica o di terra verniciata, divisa in

tanti compartimenti, in ciascuno dei quali deve pescare una coppia formata di due lamine di rame e zinco, separate l'una dall'altra, e solo in contatto colle loro appendici superiori. Queste lamine sono tutte attaccate, coppia a coppia ad una traversa di legno verniciato, talchè possono tutte insieme essere immerse nella cassetta.

Wollaston si accorse che l'effetto della pila era aumentato se davasi al rame una superficie più grande che al zinco; perciò modificò la pila a cassetta circondando la lastra di zinco di ogni coppia, colla lastra di rame della coppia precedente, ma avendo cura di evitare ogni contatto metallico tra queste due lamine. Nella Fig. 46 veggonsi due di queste coppie, in cui colla lettera *r* sono indicate le lamine di rame, e colla *z* quelle di zinco. In *z r* si riuniscono le due coppie, e ciascuna di esse si fa pescare in un recipiente particolare, ovvero in un compartimento separato di una stessa cassetta. Berzelius modificò la pila di Wollaston riducendo la doppia lastra di rame a forma di scatola in cui introduceva la lastra di zinco dopo avervi versato il liquido conduttore. Si possono riunire insieme molte di queste coppie alla Wollaston, e si ha così una specie di pila a corona di tazze, in ognuna delle quali il rame circonda da tutte le parti lo zinco. Il vantaggio della pila di Wollaston consiste nell'esser molta la superficie del rame e nel circondare questo lo zinco, per cui diviene il più piccolo possibile lo strato del liquido che la corrente deve attraversare fra metallo e metallo della coppia.

Si fa spesso uso di apparecchi voltaici formati da una sola coppia di grandi dimensioni: si costruiscono con due grandi lastre l'una di rame e l'altra di zinco separate con piccoli pezzi di legno, e avvolte ambedue a spirale, in guisa che il rame avvolga il zinco. Si ha così una pila elementare, che dicesi *ad elica*, la quale occupa poco posto e i cui effetti sono assai considerevoli. Per farla agire basta immergerla in un vaso pieno di acqua acidulata.

Sono stati fatti molti tentativi per costruire delle pile senza intervento di conduttori liquidi, e si è riusciti ad ottenere degli apparecchi che hanno una tensione, se non permanente, almeno di lunga durata, ma la cui conducibilità è così de-

bole e la carica così lenta, che non producono nè commozione nè alcuno degli altri effetti delle pile ordinarie. Essi diconsi *pile secche*. Si costruirono in principio adoperando dischetti di lamina molto sottile di zinco e di rame fra cui interponevasi della carta spalmata con colla d'amido o con latte. In seguito Zamboni le preparò nel modo che segue. Si prendono dei fogli di carta grossa, e sopra una delle loro facce s'incolla una sottil lamina di zinco o di stagno e sull'altra del perossido di manganese. Si tagliano con questi fogli un numero considerevole di dischi dello stesso diametro, e si dispongono l'uno sull'altro, sempre nello stesso ordine facendone un cumulo di 1000 a 2000. Si tengono fortemente compressi e si circondano di un grosso strato di gomma lacca. All'estremità zinco della pila si pone un grosso disco di zinco, sul quale si può avvitare un bottone metallico, all'altra un disco di rame.

Una delle più utili applicazioni che siansi fatte delle pile secche è quella che devesi a Boemmererger. Egli applicolle all'elettroscopio, situandovene due verticalmente, in modo che avessero in alto i due poli opposti. Invece di due foglie d'oro, ve ne ha una sola, ed è situata fra le due pile in modo che la sua estremità libera si trovi ad egual distanza dai due poli delle medesime. Con questo apparecchio si può giudicare della specie di elettricità che si comunica alla foglia d'oro, imperocchè è attratta dal polo carico di elettricità contraria alla sua.

Origine chimica della elettricità della pila. Fino dall'epoca in cui Volta immaginò la teoria della forza elettromotrice, Fabbroni avendo osservato che i dischi di zinco si ossidavano al contatto delle rotelle di panno inzuppato di acqua acidulata, sospettò che l'azione chimica fosse la causa principale dello svolgimento dell'elettricità nella pila. Wollaston e Davy divisero la stessa opinione. In seguito Faraday, De la Rive, Becquerel ed altri moltiplicarono le esperienze per provare che veramente le azioni chimiche sono cagioni di elettricità, e fondarono la così detta *teorica elettrochimica*. Prima di esporre questa teoria, indicheremo i fatti principali, da cui risulta con evidenza che le azioni chimiche

sono sorgenti di elettricità e di correnti elettriche. Già abbiamo esposto a pag. 61 le esperienze di Volta, Pouillet e Becquerel nelle quali si rendevano manifeste, mediante il condensatore, le tensioni elettriche prodotte dalle azioni chimiche, ed ivi particolarmente insistemmo sulle esperienze del Becquerel intorno all'elettricità svolta dall'azione degli acidi sui metalli, e si vide che dalle medesime era stata stabilita questa legge generale e costante: che *quando un acido agisce chimicamente sopra un metallo, l'acido si elettrizza positivamente ed il metallo negativamente*. Se ora s'immergono in un acido due metalli, uno dei quali sia attaccato dal medesimo e l'altro no, il metallo attaccato prende l'elettricità negativa, il liquido la positiva, la quale si diffonde sul metallo non attaccato. In questo caso, se i due metalli comunicano tra loro mediante un arco pure metallico, si produce la corrente elettrica. Se poi ambedue i metalli sono attaccati dall'acido, la corrente che si produrrà ci rappresenterà l'azione chimica più forte; e sarà sempre dal più attaccato dei due metalli che la corrente verrà spinta nel liquido.

E qui dobbiamo dire di qual mezzo i fisici si servono per accorgersi della produzione della corrente, ed anche della sua intensità e direzione. Vedremo in breve che esiste in natura una materia, detta *calamita*, sulla quale le correnti elettriche spiegano una rimarchevole azione. Se con questa materia si costruisce un ago, che rendasi mobilissimo intorno ad un pernio, e al di sopra di esso si dispone parallelamente un filo metallico percorso dalla corrente elettrica, si vede che l'ago tende a disporsi perpendicolarmente al filo stesso, e se non vi si dispone interamente ciò dipende da altre forze che agiscono sull'ago stesso indipendentemente dalla corrente elettrica. Ma egli è però chiaro che quanto più l'ago sarà deviato dalla primitiva sua direzione, tanto maggiore sarà la intensità della corrente che agisce su di esso. A fine di misurare la intensità delle correnti che si fanno agire sull'ago, si dispone questo al centro di un cerchio graduato. L'ago prende il nome di *magnetico*, e l'apparecchio in cui è situato, e per mezzo del quale si fanno passare al di sopra di esso le correnti, dicesi *Galvanometro*. Dobbiamo altresì ag-

giungere che a seconda della direzione che prende una delle estremità dell'ago nel deviare, si può giudicare della direzione della corrente. Avremo ben tosto occasione di dare maggiori dettagli intorno a questo importante strumento: per ora è sufficiente l'averne dato un cenno.

Se adunque nella esperienza di cui poco sopra parlavamo, faremo agire sull'ago del galvanometro la corrente prodotta, e circolante mediante il filo metallico che unisce i due metalli, sarà facile accorgersi che la corrente stessa va dal metallo attaccato al liquido, e ritorna per l'arco metallico dal metallo non attaccato all'altro. E poichè l'azione chimica non cessa di agire, non cessano di prodursi gli stati elettrici contrarj nel metallo e nel liquido; non cessa neanche la continua loro neutralizzazione per mezzo dell'arco metallico, e quindi la corrente è continua. Ma questo fenomeno spiegavasi con egual facilità nella teoria della forza elettro-motrice, e potrebbe a capriccio attribuirsi a questa causa ovvero all'azione chimica.

Anche la combinazione fra liquidi e liquidi è accompagnata da svolgimento di elettricità. Ciò può dimostrarsi nel seguente modo. Si prendono due capsule (*Tav. II, Fig. 47*) *P* ed *N*, di vetro o di porcellana; nella seconda *N* si versa la soluzione di un acido, come sarebbe il solforico, il nitrico ec. ec., nell'altra *P* una soluzione alcalina, come di potassa, di soda ec. ec.; si fanno comunicare le due capsule con uno stoppino di cotone inzuppato d'acqua o d'una soluzione salina; ovvero anche mediante un tubo di vetro piegato ad U, e pieno di acqua o d'argilla bagnata. Immerse allora due lamine di platino unite agli estremi del galvanometro nei liquidi delle due capsule, si vede l'ago magnetico deviare e indicare una corrente che è diretta dalla capsula in cui è l'alcali, o la base qualunque, all'acido, attraverso l'arco umido che unisce le due capsule, e che ritorna in direzione contraria passando pel filo metallico del galvanometro. Resulta adunque da questo esperimento che, *nella combinazione di un acido con una base, il primo prende l'elettricità positiva e la seconda la negativa*. Anche questo fatto può spiegarsi colla teoria del Volta. Abbiamo infatti due corpi elettro-motori di second' ordine fra di loro a contatto, ed un arco metallico at-

traverso cui i due stati elettrici separati dalla forza elettromotrice possono riunirsi.

Vi sono però una moltitudine di fatti che non possono spiegarsi colla teoria della forza elettromotrice, e trovano facilissima spiegazione nei principj da noi stabiliti della teoria elettro-chimica. Noi passiamo adesso ad esaminarli. Si abbiano due lamine, una di rame e l'altra di ferro, unite ai capi del filo del galvanometro. S'immergano nell'acqua o pura o acidulata; tosto si hanno fortissimi segni di corrente elettrica, la cui direzione combina bene nelle due teorie. Il ferro è quello che spinge la corrente nel liquido; ed infatti secondo Volta il ferro si fa positivo pel contatto del rame; e secondo la teoria elettro-chimica, esso a preferenza del rame è attaccato dall'acqua e dagli acidi. Ma se cambiasi il liquido, ed invece di acqua acidulata si pone una soluzione d'idrosolfato alcalino, allorquando s'immergono le due lamine si veggono al solito gl'indizj della corrente che si produce; ma la sua direzione è opposta a quella di prima, ed è spinta nel liquido dal rame. Questo fatto non può intendersi nella teoria di Volta, mentre ha una facilissima spiegazione nella teoria elettro-chimica; difatti è noto in chimica che de'due metalli rame e ferro, il primo è il più attaccato dagl'idrosolfati. Lo stesso deve dirsi di una coppia di rame e stagno: immersa nell'acqua acidulata la corrente è spinta dallo stagno nel rame; laddove immersa nell'ammoniaca liquida la corrente ha una direzione opposta. Ora i chimici sanno che una soluzione acida attacca a preferenza lo stagno del rame, mentre l'ammoniaca agisce a preferenza sul rame.

Questi fatti mentre stanno a provare indubitatamente che le azioni chimiche sono sempre sorgenti di correnti elettriche, non escludono però del tutto la forza elettromotrice, imperocchè potrebbe suppersi che essa pure intervenisse nelle rammentate azioni, e solamente che ad essa prevalessesse la forza chimica. Si possono però citare molti fatti in cui la forza elettromotrice è affatto esclusa, e la corrente è unicamente prodotta dall'azione chimica. Se ai capi del filo del galvanometro si uniscono due lamine, una d'oro e l'altra di platino, e ambedue s'immergono nell'acido nitrico purissimo, non si sta-

bilisce veruna corrente. Non di meno in questo esperimento vi sono tutte le circostanze richieste per lo svolgimento della forza elettro-motrice: due metalli eterogenei a contatto e un liquido conduttore frapposto. La teoria chimica invece dà ragione della mancanza della corrente, essendochè de' due metalli impiegati non ve ne ha uno che sia attaccato dall'acido nitrico. Se a quest' ultimo aggiungasi un po' d'acido cloridrico tosto la corrente si produce, ed è spinta nel liquido dall'oro, avvegnachè il miscuglio dei due mentovati acidi agisce più energicamente sull'oro che sul platino. Il platino e l'argento immersi nelle soluzioni saline che non hanno azione chimica nè sull'uno nè sull'altro, non producono segno di corrente, ma bastano poche gocce di acido nitrico per svilupparla, e sempre in modo che l'argento, come quello che è attaccato, è l'elemento positivo.

L'esperimento che segue è anche più convincente. Si prenda un tubo di vetro ricurvo ad U, nel mezzo del quale vi sia un tramezzo di cotone, di argilla o di altra materia facilmente permeabile ai liquidi. Si riempiano i due compartimenti del tubo di un medesimo liquido, quindi s'immergano in ambedue due lamine dello stesso metallo, unite ai capi del galvanometro. Egli è manifesto che il liquido, essendo della stessa natura nei due bracci del tubo, e le due lamine di uno stesso metallo, la corrente non può prodursi. Ma se faremo in modo che il liquido di uno dei bracci del tubo divenga più acido o più caldo dell'altro, tale insomma che la sua azione chimica sul metallo immerso sia più forte di quella dell'altro, la corrente avrà luogo, e diretta al solito dalla parte in cui l'azione è maggiore verso quella ov'è minore.

Da questi e da molti più fatti che potrebbero citarsi si possono trarre queste conseguenze:

1.º Il solo contatto di due sostanze eterogenee immerse in uno stesso liquido conduttore non produce corrente elettrica, anche nelle circostanze le più favorevoli secondo la teoria della forza elettro-motrice.

2.º L'azione chimica sola, ed anche senza il contatto di metalli eterogenei, produce la corrente elettrica, la quale è

sempre diretta dal metallo o corpo più attaccato nel liquido che produce l'azione chimica.

3° Deve perciò ammettersi che nel caso in cui vi è nello stesso tempo il contatto di sostanze eterogenee e l'azione chimica, la corrente elettrica è prodotta da quest'ultima cagione, trovandosi costantemente che il metallo, sul quale l'azione chimica del liquido è la più forte è sempre l'elemento positivo della coppia.

Tali cose premesse si domanda, se il solo contatto può reputarsi cagione di elettricità? I propugnatori della teorica elettro-chimica lo negano intieramente; ma in Italia ed in Germania cotesto principio ha tuttora dei valenti sostenitori. Ed in fatti Marianini, Belli, Pfaff ed altri non sanno dove rintracciare l'azione chimica nell'esperimento fondamentale del Volta, consistente nel caricare il condensatore col semplice ripetuto contatto dei due piatti metallici, di rame e di zinco isolati, e neanche sanno trovarla nelle pile secche. Gli elettrochimici attribuiscono gli effetti dell'esperimento di Volta, ora all'azion chimica dell'aria o dell'umidità sui due metalli ed ora alla pressione dei due dischi, e ripetono l'azion chimica delle pile secche da lenta ossidazione.

Marianini ha avuto cura di escludere nel modo il più completo l'azion chimica negli esperimenti di cui si tratta, operando nel vuoto o in gas privi di ossigeno e di umidità, ed ha sempre ottenuto segni evidentissimi di tensione elettrica, dai quali fatti si deve concludere che anche il solo contatto può talora esser causa di svolgimento di elettricità.

Delle pile a forza costante o a due liquidi. Per intendere i principj da cui dipendono le *pile a corrente costante*, fa d'uopo premettere alcuni fatti sui quali avremo luogo di tornare in appresso.

La corrente elettrica nel traversare certi composti liquidi come l'acqua, l'acido idroclorico i protocloruri metallici ec. ec. ne separa gli elementi, alcuni dei quali si portano al polo positivo e gli altri al polo negativo della pila. I composti liquidi di tale specie furono da Faraday denominati *elettroliti*, per distinguerli da quei liquidi che non conducendo la cor-

rente non sono dalla medesima decomposti. Ora si può ammettere che la decomposizione degli elettro-liti per mezzo della corrente sia un effetto d'attrazione di stati elettrici contrarj, onde potrebbe dirsi che il corpo che si fa libero sul polo positivo è carico di elettricità negativa, e l'altro che corre al polo negativo è carico di elettricità positiva. Vedremo in seguito che in tutte le decomposizioni operate dalla corrente, l'ossigeno, il cloro, il bromo si manifestano al polo positivo, mentre l'idrogeno ed i metalli si portano al polo negativo. Perciò i primi furono detti *elettro-negativi* ed i secondi *elettro-positivi*.

Avviene adunque nelle pile voltaiche già da noi descritte, che decomponendosi, pel passaggio della corrente, il liquido stesso della pila, si unisce l'elemento negativo di esso al metallo positivo di ciascuna coppia, mentre al polo negativo si porta l'elemento positivo. Questi elementi ricongiunti coi poli rispettivi di ogni coppia, ne rendono minore la forza, e diminuiscono ben presto notabilmente la energia della corrente. Di fatti lo zinco unendosi all'ossigeno si ossida, e quest'ossido sciogliendosi nell'acido solforico della pila, dà luogo a tanto solfato di zinco che in breve sostituisce tutto l'acido solforico. Dall'altro canto la corrente decompone anche il solfato di zinco prodotto, trasportandone e depositandone lo zinco sul polo negativo di ogni coppia, vale a dire sul rame della medesima, sicchè in breve questo elemento della pila si trova a non avere più azione. Onde ovviare a questo inconveniente, ed ottenere delle correnti che rimanessero costanti per un tempo assai più lungo, fu immaginato d'immergere la lastra di zinco in un liquido, e quella di rame in un altro di diversa natura separati da un diaframma capace d'impedirne la miscela senza intercettare il passaggio della corrente. I due liquidi poi devono essere di tal natura da sciogliere i depositi che si formano ai poli per la decomposizione dell'elettro-lito.

Ma un fatto assai notevole, che ha molto contribuito al conseguimento della costanza nella corrente delle pile, si è il modo di agire dello zinco amalgamato, notato primieramente dal Brugnatelli, e quindi fatto meglio conoscere da Kempe e da

Sturgeon. Ognun sa che lo zinco del commercio, reso impuro da varj altri metalli che lo imbrattano, gettato nell'acqua acidulata la decompone immediatamente sviluppandone in copia l'idrogeno. Lo zinco purissimo, ottenuto per distillazione, invece non vi manifesta alcuna chimica azione; ma se toccasi mentre è immerso nel liquido acido con un filo di platino, tosto sviluppansi su quest'ultimo molte bolle di gas idrogeno, e lo zinco si scioglie. Questa decomposizione è prodotta dalla corrente elettrica che si stabilisce pel contatto de' due metalli e spiega il fatto dell'azione immediata del zinco impuro sull'acqua acidulata. Difatto i metalli che accompagnano lo zinco del commercio sono tutti elettro-negativi rispetto allo zinco, talchè formano secolui tante coppie voltaiche, mercè le quali si stabiliscono tante piccole correnti che operano la decomposizione dell'acqua. Lo zinco ricoperto da uno strato di mercurio, vale a dire amalgamato, agisce esattamente alla maniera del zinco purissimo. Solo non decompone l'acqua acidulata; in contatto del platino o di un altro metallo tosto la decompone, stabilendosi una corrente elettrica. Ignorasi l'azione singolare del mercurio in questa circostanza; ma può dirsi che l'amalgama essendo una combinazione e quindi un corpo particolare, goda al pari dello zinco purissimo della proprietà di non decomporre l'acqua se non quando è costituito allo stato di coppia voltaica. Notata questa singolare proprietà dello zinco amalgamato, ci sarà ora assai facile rilevare l'importanza dell'uso di esso nelle pile. Infatti se lo zinco amalgamato non scompone l'acqua e non si ossida se non pel passaggio della corrente, cioè a dire se non quando è chiuso il circuito della pila; quanto minor consumo di zinco avrà luogo allorchè sarà adoprato invece dello zinco del commercio, il quale agisce chimicamente anche quando il circuito della pila non è chiuso?

Ma egli è anche per un altro motivo, che l'uso del zinco amalgamato riesce vantaggiosissimo. L'esperienza ha provato, che nel caso in cui l'azione chimica sola, senza il soccorso della corrente, sarebbe nulla, allorchè la corrente esiste, la quantità del metallo ossidato è *equivalente* alla quantità di idrogeno che la corrente trasporta sul platino della coppia,

vale a dire che se si raccoglie diligentemente questo idrogeno si trova esattamente in tal quantità da combinarsi coll'ossigeno che si è unito allo zinco per ricostituire dell'acqua. Ciò significa che tutta l'azione chimica si è convertita in corrente; che non vi è stata la minima porzione di zinco ossidata che non abbia spinto elettricità nel liquido. Non è più così quando invece di zinco amalgamato si usa lo zinco del commercio o altri metalli ed altri liquidi. Così, sciogliendo rame, mercurio, bismuto, zinco nell'acido nitrico, la quantità d'idrogeno che si separa sulla lamina platino della coppia è assai minore dell'equivalente della quantità di metallo disciolto coll'acido nitrico puro; v'è molta azione chimica senza traccia di decomposizione elettro-chimica.

Due condizioni sono adunque essenziali ad ottenere l'effetto elettro-chimico equivalente all'azion chimica che ha generato la corrente: 1.^o che il liquido sia un elettro-lito; 2.^o che il metallo non agisca chimicamente, se non messo in coppia con un altro che non soffra alcuna azion chimica dall'elemento elettro-negativo dell'elettro-lito. Quando queste condizioni mancano, si ha sempre una quantità di metallo ossidato e disciolto che non genera corrente. Ecco adunque l'altra causa per la quale si ha un grande vantaggio usando lo zinco amalgamato nelle pile.

Sopra gli esposti principj sono fondate le pile a due liquidi o a corrente costante, i cui effetti superano di gran lunga quelli delle ordinarie pile voltaiche.

La prima pila a due liquidi fu immaginata dal fisico inglese Daniell. La Tav. II Fig. 48 rappresenta la sezione di una coppia della pila di Daniell: *a b c d* è un cilindro di rame aperto in alto e chiuso inferiormente, ad eccezione della porzione *e f* destinata a ricevere un turacciolo di sughero, al quale è adattato un tubo di vetro a sifone *g h i j k*. Alla bocca superiore del cilindro si applica un collo *m l n o* di rame, che ha un diametro eguale a quello del turacciolo di sughero: prima di fissare questo collo si lega al turacciolo un tubo di membrana animale, che poi si fissa superiormente nello stesso modo, al collo *m o*. Con questa disposizione si ha una cavità a parete di membrana, che comunica col tubo

g h k a sifone, dimodochè versandovi del liquido, questo vi rimane sinchè non sia oltrepassato il livello *n o*. La più piccola quantità di liquido aggiunta allorchè il livello è in *m o* lo fa uscire dalla apertura *k*. Ne viene che introducendo per mezzo di un imbuto un liquido a goccia a goccia, escirà pure a gocce il liquido più denso che si trova al fondo. In questa cavità piena di una soluzione di acido solforico, si sospende il cilindro *q p* di zinco amalgamato. Questo cilindro si appoggia sul collo *l n* per mezzo di una tavoletta *r* in cui è infilato. Questa stessa tavola ha un foro nel quale s'introduce il tubo dell'imbuto, da cui scola la soluzione acida che va a scacciarne altrettanta dal tubo *n* sifone. Lo spazio che rimane fra il cilindro di rame e quello di membrana si riempie di una soluzione satura di solfato di rame. Si possono costruire molte di queste coppie che si riuniscono a pila nel modo ordinario. Tanto il cilindro di zinco che quello di rame portano due piccole cavità *u* e *t* nelle quali si versa del mercurio, e vi si fanno pescare i fili metallici di comunicazione fra una coppia e l'altra.

Nella pila ora descritta si hanno molti vantaggi sulle pile ordinarie. L'azione dell'acido sullo zinco si conserva costante, pel rinnovarsi del medesimo; la separazione dei liquidi in cui sono immersi i due metalli della coppia impedisce il deposito dello zinco sul rame; l'essere la lamina di rame immersa in una soluzione di solfato di rame fa sì che non soffra alcuna azione chimica, e quindi non vi sia alcuna corrente che circoli in direzione contraria di quella prodotta dallo zinco; infine l'amalgamazione di questo è causa che tutta l'azione chimica che si produce, e quindi tutto lo zinco che è ossidato e disciolto, produca corrente elettrica. Invece della membrana animale, la quale bentosto si altera e si lacerava, si fa uso oggidì di tubi d'argilla appena cotta e non verniciata. È anche utile nell'uso di queste pile, di tenere nella soluzione di solfato di rame dei pezzi di questo sale allo stato solido; imperocchè la corrente scompare nel suo passaggio questo sale disciolto, e la soluzione cesserebbe bentosto di esser satura senza l'aggiunta di nuovo sale.

Daniell ha in seguito assai modificato la costruzione della sua pila. Tra le varie disposizioni che le ha dato, la seguente

è oggidì più generalmente impiegata. Consiste in un vaso di vetro (*Tav. II, Fig. 49*) pieno di una soluzione satura di solfato di rame, nella quale è immerso un cilindro di rame *C*, in cui sono praticati lateralmente parecchi fori, e che è aperto ai due capi. Alla parte superiore di questo cilindro è fissato un recipiente anulare *G*, al cui contorno inferiore si trovano dei piccoli fori pei quali penetra la dissoluzione. In questo recipiente si collocano dei cristalli di solfato di rame che si disciolgono di mano in mano mentre l'apparato è in azione. Infine nell'interno del cilindro *C* si dispone un vaso poroso o diaframma *P* di porcellana non verniciata, pieno di una soluzione satura di sal marino, nella quale s'immerge un cilindro di zinco *Z* aperto ai due capi ed amalgamato. Ai due cilindri di zinco e di rame sono fissate con viti di pressioni due lamine sottili di rame che formano gli elettrodi della pila. Fino a che questi due elettrodi non comunicano tra loro, la pila è inattiva; ma appena la comunicazione è stabilita, incomincia l'azione chimica; l'acqua è decomposta, e la corrente incomincia a circolare. La soluzione del solfato di rame è in parte decomposta, depositandosi il suo rame allo stato polverulento sulle pareti del cilindro *C*, e l'acido solforico reso libero si porta verso lo zinco. Con questa pila si ottengono degli effetti costanti per parecchie ore ed anche per varj giorni, quando abbiasi cura di mantenere la dissoluzione allo stato di saturazione, aggiungendo di quando in quando dei cristalli di solfato di rame nel recipiente anulare.

Dopo Daniell, Grove immaginò una pila fondata sui principj della elettrochimica, la quale ha una potenza di gran lunga superiore alla precedente, e può dirsi che sia la pila più potente che si conosca. Consiste in un vaso di vetro pieno di una soluzione acquosa di acido solforico, in cui pesca una lamina di zinco amalgamato accartocciata a cilindro. Nell'interno di questa lamina di zinco, è situato un recipiente cilindrico di porcellana non verniciata pieno di acido nitrico, ed in questo sta immersa una lamina di platino. Tanto la lamina di zinco che quella di platino sono provviste delle solite appendici metalliche necessarie per la congiunzione delle

coppie tra loro. I grandiosi effetti di questa pila sono dovuti a due cause: 1.^a alla nessuna azione dell'acido nitrico sul platino, per cui non si produce la minima corrente in direzione contraria di quella prodotta dal zinco; 2.^a all'azione chimica che si stabilisce fra l'acido nitrico che bagna il platino, e l'idrogeno trasportato dalla corrente a questo elemento. È chiaro infatti che all'azione della corrente si aggiunge quella dell'affinità dell'ossigeno dell'acido nitrico per l'idrogeno dell'acqua scomposta, e quest'affinità opera togliendo la presenza di un corpo, quale si è l'idrogeno, che per la sua affinità per l'ossigeno lotta sempre collo zinco della coppia. De la Rive ha proposto di sostituire all'acido nitrico il perossido di piombo o quello di manganese umettati, i quali agirebbero nella stessa guisa; ma è indubitato che l'uso dell'acido nitrico riesce più vantaggioso.

L'inconveniente della pila di Grove è l'alto prezzo del platino, che ne limita molto l'uso. Perciò i fisici si occuparono di cercare un elemento atto a sostituire quel metallo. Sturgeon propose la ghisa e la grafite; Callan in America il piombo; Bunsen il carbone, e l'uso di questa ultima materia fu trovato da tutti così vantaggioso, che è stato generalmente adottato, sicchè la pila del Bunsen è fra tutte le pile quella che oggidì è più estesamente impiegata. Il carbone per questa pila si prepara calcinando convenientemente in forme di ferro un miscuglio di carbon fossile e di coke finamente polverizzati. Dopo la calcinazione il miscuglio ha acquistato una grandissima coesione, e può essere lavorato al tornio. Il modo di agire del carbone nella pila di Bunsen, è lo stesso di quello del platino nella pila di Grove; non di meno attesa una certa azione chimica che si manifesta tra di esso e l'acido nitrico, l'energia della pila Bunsen è alquanto minore di quella della pila di Grove. Nella pila di Bunsen, si collocava altra volta lo zinco e l'acido solforico nel vaso poroso, ed il carbone occupava il posto che ora si assegna allo zinco. In tal sistema, essendo la superficie dello zinco minore che nel nuovo, era minore l'azione chimica, e quindi lo svolgimento di elettricità.

Pila a due liquidi e ad un sol metallo, di Becquerel. Un'altra pila, i cui effetti si conservano costanti per un tempo as-

sai lungo, è quella immaginata da Becquerel, e fondata sull'azione chimica che si manifesta tra un acido ed una base, separati tra di loro da un diaframma poroso. Si può costruire riempiendo un vaso di vetro di acido nitrico concentrato, ed immergendo in questo un tubo di porcellana porosa pieno di una soluzione concentrata di potassa caustica. S'immerge una lamina di platino nell'acido, un'altra nella potassa, e si pongono in comunicazione con dei fili di platino. Tosto che la comunicazione è stabilita, l'ossigeno si svolge in abbondanza sulla lamina della dissoluzione potassica, mentre vedesi correre l'idrogeno e disossigenare l'acido nitrico sulla lamina immersa nel medesimo.

Pila a gas di Grove. Questa pila è fondata sull'azione che manifestano tra loro due gas dotati di differente natura elettro-chimica. Si compone (Tav. II, Fig. 50) di tante campanine di vetro immerse due a due in tanti recipienti pieni di acqua debolmente acidulata. In ogni vaso, una campanina è piena in parte di ossigeno e l'altra d'idrogeno, ed in ciascuna di esse v'ha una piccola lamina di platino coperta di nero di platino, che ne occupa tutta la lunghezza, ed esce dalla sommità della campana, dove è ermeticamente saldata. La pila si compone, facendo comunicare, per esempio la lamina che è immersa nella campanina piena d'idrogeno di una coppia, colla lamina che è immersa nell'ossigeno della coppia successiva, e così di seguito: le due lamine estreme appartengono a due gas differenti; quella dell'ossigeno forma il polo positivo della pila e quella dell'idrogeno il polo negativo. Quando questi poli sono in comunicazione, costituiscono una corrente di rimarchevole intensità. Se si misura la quantità d'acqua che questa corrente è capace di decomporre, si trova che è esattamente eguale a quella che si forma nel seno di ogni coppia per la combinazione dei due gas. La combinazione chimica dell'idrogeno coll'ossigeno operatasi mercè la presenza del platino è la sorgente dell'elettricità di questa pila. Allorchè il circuito è chiuso veggonsi i due gas diminuire di volume e sempre nei rapporti richiesti per formare acqua: lasciato aperto il circuito, i gas non diminuiscono. Tuttavia i

segni al condensatore si ottengono sempre; negativi sulle lamine che stanno nell'idrogeno, e positivi su quelle che stanno nell'ossigeno.

Correnti termoelettriche. L'azione del calore non si limita a rendere elettrici i cristalli di tormalina o di altri minerali, come è stato già da noi detto, ma si fa anche sentire sui corpi buoni conduttori e particolarmente sui metalli per produrvi delle correnti più o meno energiche, che furono scoperte nel 1821 dal Dottor Seebeck di Berlino. Queste correnti hanno ricevuto il nome di *termoelettriche*, per distinguerle da quelle dovute alle azioni chimiche, le quali si denotano più specialmente col nome di *correnti idroelettriche*. Se si prende un lungo filo di platino e dopo averne unite le estremità ai capi del galvanometro, si riscalda nel suo mezzo con una fiamma a spirito, ovvero con un carbone acceso, non si vede alcun segno di corrente nel galvanometro; ma se invece di lasciare tutto disteso il filo di platino, vi si fanno in un punto più nodi l'uno presso l'altro, allorquando si riscalda movendo la fiamma verso la parte annodata del filo, subito l'ago del galvanometro devia fortemente e indica una corrente che nel filo di platino è diretta dal punto riscaldato verso i nodi, e nel filo del galvanometro dai nodi verso il punto riscaldato. Se invece di prendere un filo di platino e di farvi uno o più nodi, si prendono due pezzi di uno stesso filo molto lunghi, ed uniti al solito ai capi del galvanometro, e se ne riscalda uno alla lampada e si porta a contatto dell'altro rimasto freddo, nell'istante v'ha una forte deviazione che indica al solito la produzione di una corrente che si propaga dai punti caldi verso i freddi. Questa corrente si produce ancora, operando con due fili di piombo o con due cilindretti di antimonio. Se invece adopransi dei fili di ferro, di rame o di zinco, i fenomeni non sono più costanti, e sembrano spesso dipendere dall'azion chimica che subiscono dall'aria nel riscaldamento. V'ha però un metallo che presenta dei fenomeni termoelettrici costantemente inversi a quelli del platino, dell'antimonio e del piombo. È questo il bismuto. Due cilindretti di questo metallo uniti ai fili del galvano-

metro, uno dei quali viene scaldato ed applicato sull'altro freddo, danno sempre una corrente che si propaga dal freddo al caldo.

Le correnti termoelettriche percorrono facilmente un circuito tutto metallico, e si mostrano sensibili al galvanometro; ma riescono insensibili agl'istrumenti i più squisiti quando devono transitare per un conduttore liquido di una certa lunghezza. Egli è per questo motivo che non si riesce a produrre correnti termoelettriche nei liquidi, ed in generale nei conduttori di seconda classe. Il mercurio, quantunque ottimo conduttore è privo della facoltà termoelettrica.

Le correnti termoelettriche di maggiore importanza son quelle che si producono nei circuiti formati di metalli differenti. Se si saldano insieme due lamine o due fili metallici di natura diversa come d'antimonio e bismuto, di bismuto e rame, di ferro e platino, e se ne forma un circuito chiuso analogo a quello indicato dalla fig. 51, si trova che in questo circuito si stabilisce una corrente elettrica tutte le volte che le due saldature $a b$, $a' b'$ non hanno la stessa temperatura. Se si sospende un ago calamitato presso un punto qualunque del circuito, e si scalda in $a b$, l'ago indicherà una corrente che si propagerà in una certa direzione. Se allora si scalda anche in $a' b'$, cesserà ogni deviazione nell'ago. Se invece di scaldare in $a b$ si scalderà in $a' b'$, si avrà una corrente in direzione contraria di quella ottenuta scaldando in $a b$. La riunione di due metalli differenti saldati per una loro estremità, e capaci di dar luogo ad una corrente elettrica quando vengono scaldati nella saldatura, costituisce una *coppia termoelettrica*. Per compiere il circuito in questa coppia, se ne saldano le due estremità coi fili del galvanometro, come è indicato dalla figura 52 della Tav. II.

Becquerel, Nobili ed altri fisici, sperimentando sopra coppie termoelettriche di differenti metalli, hanno trovato che riscaldando una delle saldature $a + 20^{\circ} C$, mantenendo l'altra a 0° , si ottengono delle correnti il cui verso indica che i metalli debbono disporsi nell'ordine seguente quanto alle loro proprietà termoelettriche:

- | | |
|------------|----------------|
| 1. Bismuto | 6. Oro |
| 2. Platino | 7. Argento |
| 3. Piombo | 8. Zinco |
| 4. Stagno | 9. Ferro |
| 5. Rame | 10. Antimonio. |

Ciascuno di questi metalli spinge la corrente nel metallo che lo segue, e la corrente è tanto più intensa, quanto più i due metalli sono lontani nella scala indicata. Perciò la corrente più forte si otterrà adoprando la coppia formata di bismuto e antimonio.

Le correnti termoelettriche crescono in intensità formando un circuito di parecchie coppie, e si hanno così le *pile termoelettriche*. La fig. 53, Tav. II, rappresenta la più semplice disposizione di queste pile. Se si scaldano le saldature di numero pari, o quelle di numero dispari, tenendo nello stesso tempo le altre ad una temperatura inferiore, si hanno correnti che per una data differenza di temperatura producono delle deviazioni nell'ago del galvanometro, le quali crescono col numero delle coppie. Fourier ed Oersted furono i primi a costruire delle pile termoelettriche; ma poichè la loro disposizione estendeva il circuito per un grande spazio, poco prestavansi ai bisogni della scienza e delle sue applicazioni. Onde soddisfare a ciò, era d'uopo che tutte le saldature pari venissero a radunarsi in un piccolo spazio, e così le impari: in tal modo soltanto era possibile riscaldarle contemporaneamente con una stessa sorgente calorifera o raffreddarle con un mezzo frigorifero. A questo intento giunse il nostro Nobili. La sua pila consiste nella riunione di diversi filari di coppie di bismuto e di antimonio, disposte parallelamente le une sopra le altre in direzione orizzontale. Ogni fila si compone di 5 coppie, insieme unite, nel modo che indica la fig. 54. L'ultima asta di bismuto *b*, del primo filare, è saldata lateralmente all'antimonio di un secondo filare simile, indi l'ultimo bismuto di questo all'antimonio di un terzo, e così di seguito fino a disporre gli uni sugli altri quattro filari contenenti complessivamente venti coppie, le quali cominciano con un antimonio e finiscono con un bismuto. Queste coppie

sono poi isolate le une dalle altre per mezzo di listerelle di carta coperta di vernice, indi chiuse in un astuccio di ottone *P* (Fig. 55 Tav. II) in modo che rimangano libere le sole saldature alle due estremità della pila. Due aste di rame *m* ed *n*, isolate in un anello di avorio, comunicano internamente, l'una col primo antimonio, e rappresenta il polo positivo, l'altra coll'ultimo bismuto e rappresenta il polo negativo. Queste aste si pongono in contatto colle estremità del filo di un galvanometro quando si voglia osservare la corrente termoelettrica. Volendo fare agire lo apparecchio, si mantiene costante la temperatura di tutte le saldature di una faccia e si scaldano quelle della opposta. Nel trattato del calore abbiamo veduto le importanti applicazioni della pila del Nobili, fatta servire come apparecchio termoscopico. Abbiamo visto come nelle mani del Melloni, il *termo-moltiplicatore*, abbia servito alla scoperta delle più ammirabili proprietà del calor raggianti. In quest'apparecchio la pila termo-elettrica si compone di 50 a 60 coppie. La sensibilità del termo-moltiplicatore supera quella del termoscopio ad aria, ed è circa 20 volte più grande di quella del termometro di Breguet, dando indizj del calorico irradiato da una persona alla distanza di 10 e più metri, anche senza fare uso di specchi concentratori. Molte altre sono le applicazioni che si sono fatte nella scienza delle coppie termo-elettriche, come apparecchi termoscopici, ma sarebbe qui fuor di luogo il trattarne.

Correnti elettriche animali. — Pesci elettrici. Si conosce da gran tempo la facoltà che hanno alcuni pesci di dare delle scosse allorquando vengono toccati. Il più noto fra questi pesci è la torpedine (*Raja Torpedo*) (Fig. 71, Tav. III), che trovasi nei nostri mari presso l'imboccatura dei fiumi. Gli altri sono il ginnoto o anguilla del Surinam (*Gymnotus electricus*), il Siluro (*Silurus electricus*) il *Tetrodon electricus* ed il *Trichiurus electricus*. Il più potente fra tutti è il ginnoto, le cui scosse reiterate sono capaci di uccidere dei grossi animali come per esempio dei cavalli.

Allorquando si prende tra le mani una torpedine si hanno scosse ai polsi ed alle braccia, come se si toccassero i poli

di una pila a colonna di circa 100 coppie. Seguitando a tenere fra le mani l'animale, le scosse che dà si succedono con grande rapidità, per cui riesce impossibile sostenerle a lungo. Nondimeno dopo un certo tempo le scosse ripetendosi s'indeboliscono, e l'animale ha bisogno di nutrimento e di riposo per riacquistare il primitivo vigore. Fuori dell'acqua le scosse sono più vigorose; ma si hanno eziandio immergendo una o ambo le mani nell'acqua della vasca in cui la torpedine si trova. I pescatori si accorgono spesso della presenza della torpedine nel mezzo delle loro reti, ricevendo delle scosse nel gettare che fanno, con dei secchi, dell'acqua sulla pesca, onde lavarla. Nel mare, avviene talora di ricevere la scossa dalla torpedine anche a delle grandi distanze dall'animale. Sembra che la natura si sia compiaciuta di accordare quest'arme alla torpedine ed agli altri pesci sopra rammentati, affinchè possano mediante di essa procacciarsi la preda.

Non fu difficile accorgersi, anche ai primi osservatori, che la scossa della torpedine era di natura elettrica; poichè mentre le materie conduttrici dell'elettricità erano atte a trasmetterla, quelle coibenti invece la impedivano. Walsh fu il primo ad osservare che le due facce opposte del corpo della torpedine, sono i poli in cui si trovano nell'atto della scarica le elettricità contrarie; ed infatti si ha una scossa assai più violenta delle ordinarie, quando si toccano contemporaneamente il dorso ed il ventre dell'animale.

La scossa della torpedine presenta tutti gli altri caratteri propri alla scarica elettrica. Le rane preparate secondo l'uso, poste sulla torpedine, si contraggono nel momento che l'animale dà la scossa. Il galvanometro annunzia la scarica con forte deviazione, quando i suoi capi di platino siano messi particolarmente in comunicazione uno col dorso e l'altro colla pancia dell'animale; e la corrente va pel filo da quello a questa. Se i capi di una piccola elica di filo metallico comunicano col dorso e con la pancia della torpedine, quando avviene la scarica un piccolo ago di acciaio posto nell'elica sarà calamitato. Ma il fenomeno più convincente è quello della scintilla, la quale fu per la prima volta ottenuta dal Matteucci.

Ecco il modo con cui si procede in questa esperienza. Si colloca l'animale colla pancia o colla schiena sopra un largo piatto metallico *A* (*Fig. 72, Tav. III*) bene isolato, e si posa sopra l'altra faccia del pesce un altro piatto simile tenuto con manico isolante. Sopra ogni piatto è disposta una piccola asta metallica terminata da una pallina, e da ciascuna di esse pende una fogliolina d'oro. Si dispongono i piatti in modo che le due foglie giungano in grande prossimità. Se allora si comprime la torpedine col piatto superiore, nel momento che essa dà la scossa si vede brillare una piccola scintilla fra le due foglie. L'esperienza riesce con più sicurezza saldando una lima al filo metallico di uno dei piatti, e scorrendo su di essa l'estremità del filo che è unito all'altro piatto. Di tratto in tratto veggonsi balenare delle piccole scintille dalle punte della lima.

Tutti i fenomeni della scossa o scarica della torpedine sono adunque dovuti ad una corrente elettrica. L'apparecchio da cui questa corrente è prodotta consiste in un organo particolare, chiamato *organo elettrico*, il quale è doppio, vale a dire formato di due parti simmetriche, che sono situate ai due lati del capo. Ciascuna di queste parti si compone di un numero considerevole di piccole masse prismatiche, collocate le une accanto alle altre, e dirette verticalmente dal dorso al ventre dell'animale, in modo che la loro sezione perpendicolare agli spigoli dei prismi offre l'aspetto delle cellette di un alveare (*Fig. 73, Tav. III*). Questi prismi perpendicolarmente ai loro spigoli, sono divisi da parecchi diaframmi che formano una serie di vescichette identiche fra loro e piene di un liquido costituito di acqua, albumina e sal marino. Tutto l'apparecchio riceve numerose diramazioni dei nervi pneumogastrici. Ciascuna delle vescichette, che col loro insieme costituiscono i prismi dell'apparecchio elettrico della torpedine, è secondo il Matteucci l'organo elementare di quell'apparecchio. Difatti asportandone una dall'organo elettrico di una torpedine viva, si osserva che posta in contatto dei nervi di una rana preparata, e stuzzicata con un corpo aguzzo, è capace di eccitare delle contrazioni nella rana.

L'organo elettrico è sotto l'influenza della volontà dell'animale; la quale vi si esercita mediante i nervi che vi si distribuiscono. Irritando separatamente questi nervi, la scarica si ottiene non da tutto l'organo, ma dalla porzione soltanto in cui il nervo irritato si distribuisce. Anche la corrente elettrica fatta passare pei nervi che vanno all'organo elettrico, vi eccita le scariche. In quanto all'azione che il cervello esercita sulla mirabile facoltà della torpedine, il Matteucci ha osservato che i primi lobi di detto organo, i lobi ottici ed il cervelletto non vi hanno alcuna influenza, potendo essere tolti senza che perciò cessino le scariche; ma invece un quarto lobo, che egli chiama *lobo elettrico*, non può essere irritato senza che tosto si manifesti la scarica; e distrutto che sia, l'organo elettrico perde ogni suo potere.

Il ginnoto, che abbiamo detto presentare i medesimi fenomeni elettrici della torpedine, ma con assai maggiore intensità, ha la forma di una grossa anguilla. Il suo organo elettrico è composto esso pure di tanti prismi addossati e costituiti dall'insieme di molte vescichette; ma invece di esser diretti col loro asse dal dorso al ventre dell'animale, lo sono invece dalla testa alla coda. Ne segue adunque che nel ginnoto l'estremità cefalica è il polo positivo, e la caudale è il negativo; e con ciò si spiega l'artificio di cui si serve questo animale per uccidere un pesce colla scossa; quello cioè d'incurvare il corpo, in modo che la preda rimanga compresa nella concavità formata.

Il Matteucci considera l'organo elettrico della torpedine e del ginnoto come una specie di pila, i cui elementi sarebbero le innumerevoli vescichette che lo formano. Queste vescichette non entrerebbero in azione per separare le due elettricità, se non mediante l'eccitazione del sistema nervoso; la quale perciò agirebbe nell'organo in discorso alla maniera del calore sulla tormalina o dell'azione chimica fra due corpi di natura diversa. Le osservazioni microscopiche dell'abile micrografo Filippo Pacini sulla struttura delle vescichette dell'organo elettrico della torpedine e del ginnoto, stanno a convalidare l'ipotesi ora accennata. Egli ha riconosciuto una differenza manifesta fra la struttura delle due facce, superiore ed inferiore di cia-

scun diaframma di tali vescichette elementari. Questa differenza è assai più rimarchevole nel ginnoto che nella torpedine. In quest'ultimo pesce essa consiste soltanto in ciò, che le estremità delle ultime diramazioni nervose e sanguigne si attaccano tutte *alla sola faccia inferiore* di ciascun diaframma, e giammai alla superiore. In questa differenza consisterebbe secondo il professor Pacini l'attitudine diversa delle due facce ad acquistare sotto l'influsso nervoso, piuttosto l'una che l'altra polarità; ed il polo negativo corrisponderebbe sempre alla faccia a cui si attaccano le fibre nervose; vale a dire alla inferiore. I diaframmi elettrici del ginnoto presentano una spessezza ed una complicità assai maggiori che nella torpedine, e si compongono di due parti distinte e molto diverse tra loro, l'una sovrapposta all'altra. Alla superiore il Pacini ha dato il nome di *corpo cellulare*, ed alla inferiore quello di *lamella fibrillare*; ed è in quest'ultima che vanuo a terminare i vasi e i nervi proprj dell'organo elettrico. Perciò la prima è l'elemento positivo dell'organo stesso, e la seconda il negativo.

Correnti nervee e muscolari. Avendo i fisici ed i fisiologi stabilito coll'esperienza che nei pesci di cui abbiain di sopra discorso, le azioni vitali sono capaci di produrre larga copia di elettricità, la quale nei medesimi si manifesta mercè un particolare organo collettore; era naturale il ricercare se pure elettricità si producesse negli altri animali, i quali mancando di siffatto organo non ne appalesano l'esistenza. Il Galvani fu il primo ad osservare che una rana preparata alla sua solita maniera, si contrae allorchè si fanno giungere a mutuo contatto i suoi nervi lombari coi muscoli della ceccia o della gamba. Il Nobili dimostrò in seguito per mezzo del galvanometro che una vera corrente elettrica circolava nelle membra della rana in conseguenza di quel contatto. L'esperienza del Nobili si opera in questa guisa. Si colloca una rana di fresco preparata accavalcioni a due bicchierini contenenti acqua stillata, in modo che i nervi lombari peschino in uno di essi e i muscoli delle gambe nell'altro. Così disposte le cose, si chiude il circuito immergendo nei bicchierini le due estremità di platino del filo galvanometrico. Tosto vedesi deviare l'ago di 10° a 15° , e nel tempo stesso contrarsi la rana. Il verso della deviazione, in-

dica che la corrente va dai muscoli al nervo nell'interno dell'animale. Questa corrente che non è stata fin qui riconosciuta che nella sola rana, è perciò distinta col nome di *corrente propria della rana*.

Ma in tutti gli animali si hanno delle correnti muscolari facili a mostrarsi coll'esperienza. L'esistenza di queste correnti è stata dimostrata dal professor Matteucci. Per rendere manifeste siffatte correnti, questo illustre fisico si serve ora della rana galvanoscopica ed ora del galvanometro. La rana galvanoscopica consiste in una mezza coscia di questo animale col nervo sporgente, collocata entro un tubo di vetro, in modo che il lungo tronco nervoso resti di fuori. È chiaro che se questo nervo chiuda un circuito qualunque, i muscoli della coscia col loro contrarsi annunzieranno il passaggio della corrente. Perciò, se tolti i comuni integumenti, si faccia una ferita in un muscolo di un animale vivo, e due punti del nervo della rana galvanoscopica tocchino due punti diversi di cotesta ferita, si vedrà la rana contrarsi. E che tali contrazioni sieno prodotte da una corrente elettrica dovuta alle diverse parti del muscolo dell'animale, lo prova il non vedere eccitarsi alcuna contrazione quando si toccano due punti distinti del nervo della rana con un corpo conduttore qualunque, o con un liquido, fosse anche un umore animale, come sangue, siero ec. La rana galvanoscopica si contrae anche quando si esperimenta sui muscoli di animali di recente uccisi, e sui muscoli separati dall'animale.

Il galvanometro con scandagli di platino annunzia esso pure le correnti muscolari, e mostra che le medesime sono dirette dall'interno della ferita del muscolo verso l'esterno. Il Matteucci ha poi avuto l'ingegnosa idea di fare delle pile con mezze cosce di rane, infilate l'una dentro l'altra come mostra la fig. 74, Tav. III, in guisa che in tutte la superficie esterna del muscolo sia rivolta da un lato, e la parte interna dall'altro. Ha così ottenuto delle correnti d'intensità maggiore, e proporzionali al numero delle cosce adoperate. Risultati simili sonosi ottenuti con muscoli di uccelli ed anco di mammiferi. È però importante notare che le correnti muscolari si estinguono assai più presto negli animali superiori che negl'inferiori.

2.^o *Propagazione delle correnti elettriche.*

Velocità della corrente. — È facile immaginare il modo col quale debbono praticarsi le esperienze destinate a misurare la velocità con cui la corrente elettrica si propaga. Supponiamo di avere un circuito di una pila, formato da un filo metallico lungo molte miglia, il quale si estenda tra due città assai lontane fra loro, come Firenze e Livorno. A queste due stazioni sieno due osservatori, muniti ambedue di orologi messi perfettamente d'accordo tra loro, e stiano coll'occhio attento sull'ago di un galvanometro compreso nel circuito. Ad un certo istante, convenuto preventivamente, uno degli osservatori chiuda il circuito riunendo i capi del filo ai due poli della pila. L'altro osservatore noterà l'istante in cui vede deviare l'ago del galvanometro. Ora accade sempre che questi due istanti coincidano sempre, non solo per una piccola distanza, quale si è quella tra Firenze e Livorno, ma per molto più grandi ancora; e si può dire senza tema di errare, che se il circuito elettrico facesse anche il giro intiero intorno alla terra, la corrente elettrica si propagherebbe in tutti i punti del filo conduttore in un tempo talmente corto da non esservi pei nostri istrumenti e pei nostri sensi, differenza sensibile di tempo tra il manifestarsi della corrente in un punto o in un altro qualunque del circuito. Da alcune recenti esperienze, colle quali si è tentato di scuoprire la velocità con cui si propaga la corrente elettrica nei fili metallici, si è trovato che questa velocità era, maggiore di quella con cui si propaga la luce, che si sa essere di circa 200,000 miglia in un minuto secondo.

Leggi della propagazione della corrente. — 1. *In un circuito qualunque percorso dalla corrente, l'elettricità non si porta alla superficie come l'elettricità di tensione, e come fa in parte la scarica della batteria, ma bensì nel suo interno.* Infatti se si forma un arco scaricatore con un sol filo metallico, oppure con un fascio di fili egualmente lunghi e scelti in modo che colla somma delle loro sezioni facciano la sezione del primo filo, si trova che l'azione sull'ago calamitato del fascio dei fili è la

stessa di quella del solo filo grosso; e non di meno la superficie è nei due casi ben diversa.

2. *L'intensità della corrente è la stessa in tutti i punti del circuito, ed è in ragione inversa della lunghezza del circuito medesimo.* Questa legge può dimostrarsi con una coppia termoelettrica, in cui le saldature siano mantenute ad una costante differenza di temperatura, onde la corrente sia pure costante. Supponiamo che il filo metallico unito alla coppia, e facente un solo giro intorno all'ago del galvanometro, abbia un metro di lunghezza, e che la deviazione sia di 5° ; se allora si prenderà un filo di 10 metri di lunghezza, facendogli fare 10 giri intorno all'ago del galvanometro, si vedrà che la deviazione non cambierà, e si conserverà sempre di 5° ; il che vuol denotare che in questo secondo caso il circuito essendo divenuto dieci volte più lungo, la corrente è dieci volte meno intensa; ma perchè ha girato dieci volte intorno all'ago del galvanometro, vi ha prodotto lo stesso deviamiento, ossia è sembrata della stessa intensità.

3. *L'intensità della corrente è in ragion diretta della sezione e della conducibilità del filo che la trasmette.* Esperimentando con fili dello stesso metallo e della stessa lunghezza, ma di un diametro diverso, è facile scoprire, usando una medesima pila, che la corrente ottenuta è tanto meno intensa quanto più è sottile il filo adoperato. Potrebbe dirsi, in altri termini che la resistenza che oppone al passaggio della corrente la materia del circuito è tanto più grande quanto più il filo è lungo e sottile.

Indipendentemente però dalla lunghezza e dal diametro del filo, l'influenza che ha il circuito a indebolire l'intensità della corrente varia notabilmente secondo la natura del metallo che lo compone. Così supponendo di avere una certa pila e di formare il circuito con fili di diversi metalli, tutti però eguali di diametro e di lunghezza, si troverebbero delle correnti di una intensità molto diversa fra loro a seconda della maggiore o minore conducibilità dei diversi metalli per la corrente elettrica. Nel quadro seguente abbiamo indicato i numeri che rappresentano la conducibilità dei diversi metalli per la corrente, riferita a quella del mercurio espressa con 100.

<i>Nomi dei metalli</i>	<i>Conducibilità</i>
Palladio . . .	5791
Argento . . .	5152
Oro	3975
Rame	3838
Rame rincotto .	3842
Platino.	855
Ferro	700
Mercurio	100

Dobbiamo notare che la conducibilità dei metalli è notabilmente modificata dalla temperatura. Per il ferro, da 0° a + 100° C la conducibilità diminuisce nel rapporto di 12 a 8, e per il rame la variazione è di 91 a 64.

Grandissima è la differenza di conducibilità fra i metalli e i liquidi. La soluzione satura di solfato di rame, che è uno dei migliori conduttori liquidi, ha tuttavia una conducibilità, che è sedici milioni di volte minore di quella del rame. L'aumento di temperatura produce sulla conducibilità dei liquidi un effetto contrario a quello esercitato sui metalli. A 100° C, la conducibilità dei liquidi diviene tre o quattro volte maggiore di quella posseduta a 0°.

Un caso assai singolare ed importante di conducibilità per la corrente elettrica è quello offerto dalla terra. Se si fosse dovuto giudicare di questa conducibilità da quella delle materie che la compongono, si sarebbe stimata assai piccola, poichè non avrebbe potuto attribuirsi se non all'acqua che in quantità più o meno grande vi si trova alle varie profondità e nei diversi strati. Infatti formando dei cilindri di argilla e inserendoli nel circuito della pila, si vede la corrente soffrire una grandissima diminuzione d'intensità ancorchè i detti cilindri sieno molto grossi e corti. E se si rinnova l'esperienza dopo che quei cilindri hanno perduta per evaporazione una parte della loro acqua, si trova l'intensità della corrente viepiù diminuita; e se finalmente si usano dei cilindri di argilla interamente asciutta, o di terra cotta, si troverà la loro conducibilità tanto diminuita, da essere presso che nulla. Quora però si tenti la conducibilità del suolo, immergendo in

due pozzi od anche in due buche profonde poche braccia le due estremità del filo del circuito, essa trovasi grandissima ed assai maggiore di quella de' metalli. L'esperienza ha dimostrato che formando colla pila un circuito misto, composto cioè di un filo metallico e di uno strato di suolo, l'intensità della corrente non subisce alcuna diminuzione, qualunque sia la lunghezza di questo strato. Questa verità fu in questi ultimi tempi dimostrata usando degl' intervalli di terreno lunghi varie centinaia di miglia, nei quali casi si trovò che la resistenza presentata alla corrente elettrica da uno strato di suolo lungo un braccio, od anche meno, non era diversa da quella di uno strato lungo molti milioni di braccia. Nè si trovò differenza secondo la varia natura dei terreni, e non si riscontrò necessario di adoperare dei pozzi molto profondi, nè d'immergere in essi lastre metalliche molto estese per formare le estremità del circuito, onde ottenere questo risultato.

Bene stabilita coll'esperienza l'ottima conducibilità della terra, restava a stabilirne la causa. Varie sono le opinioni intorno a ciò. Alcuni opinano abbia la terra un modo particolare di condurre l'elettrico, ma egli è più razionale l'ammettere, che essa agisca siccome un conduttore la cui sezione è infinitamente grande, ed in cui per conseguenza la conducibilità è infinita. Vedremo, parlando della telegrafia elettrica, di quanta importanza sia questa grande conducibilità della terra.

4. *L'intensità della corrente elettrica è direttamente proporzionale alla somma delle forze elettro-motrici del circuito, ed in ragione inversa della resistenza totale di tutte le parti del circuito stesso.* Questa legge fu trovata teoricamente da Ohm, e fu da lui espressa con questa formola semplicissima $F = \frac{E}{R}$

in cui E è la forza o le forze elettro-motrici, R le resistenze, F l'intensità della corrente. Per forza elettro-motrice dobbiamo intendere qualsiasi cagione atta a produrre e a porre in movimento l'elettricità, e non dobbiamo attribuirle unicamente il significato che le dava il Volta. Per resistenza totale del circuito deve intendersi con Ohm la somma di tutte le resistenze che incontra la corrente, sia negli strati liquidi

e nelle parti metalliche della pila stessa, come nel filo interpolare.

Si deduce da questa legge, che se facciamo astrazione dal filo interpolare, e consideriamo una pila formata di più coppie perfettamente eguali, la intensità della corrente crescendo da una parte col numero delle coppie e la resistenza dall'altra nella medesima ragione, ne segue che infine la intensità della corrente della intera pila eguaglia quella di una sola coppia. Ciò per altro va inteso, come abbiamo premesso, nel caso che i poli della pila fossero messi ad immediato contatto, ossia supponendo il circuito formato dalla sola pila; ma se i poli di questa si congiungano mercè altri corpi conduttori, fa d'uopo tener conto della loro resistenza, ed allora la quantità della corrente di una coppia non potrà più dirsi eguale a quella della intera pila. Se si avranno due pile di un numero differente di coppie, e ad ambedue aggiungeremo la stessa resistenza, è chiaro che la diminuzione che ne risulterà nella intensità delle correnti, sarà tanto minore quanto più detta resistenza sarà piccola rispetto alle resistenze interne delle due pile. Perciò questa diminuzione sarà assai minore nella pila in cui il numero delle coppie sarà maggiore. Supponiamo infatti che la resistenza del conduttore interposto sia espressa da r ; la intensità della corrente di una coppia sarà

$$F = \frac{E}{R + r}, \text{ e quella di una pila di un numero } n \text{ di coppie}$$

$$\text{sarà } F n = \frac{n E}{n R + r}. \text{ Ora è chiaro che il valore delle due}$$

frazioni è diverso, e che quanto più n è grande, la seconda frazione avrà diminuito tanto meno della prima. Si deduce da ciò che se il circuito interpolare è lunghissimo, e tale che la resistenza interna delle pile possa trascurarsi, l'intensità della corrente diventa in questo caso proporzionale al numero delle coppie. Così avviene come vedremo, nel circuito dei telegrafi elettrici.

Ma come si determina la *resistenza interna* della pila, o quella di un conduttore interpolare qualunque? Cotesta resistenza si riferisce ad una unità, la quale consiste nell'unità di lunghezza di un filo metallico di un determinato diametro,

per esempio un metro di filo di rame del diametro di un millimetro. Perciò si determina a quanti metri di questo filo equivale la resistenza interna della pila o del conduttore interpolare, e si ha così ciò che dicesi *la lunghezza ridotta* di queste resistenze. Per giungere a siffatte determinazioni Wheatstone ha fatto uso di uno strumento da lui chiamato *reostato*. Ecco in che consiste: *A* e *B* sono due cilindri (*Tav. II, Fig. 56*) il primo di ottone ed il secondo di legno, mobili entrambi intorno ai loro assi mercè un manubrio che si applica all'uno o all'altro. Il cilindro di legno è fornito di una scanalatura ad elica, e termina in *a* con un anello metallico al quale è congiunto un estremo di un filo metallico o di ottone lungo 40 metri. Questo filo si avvolge per un tratto più o meno lungo nella scanalatura del cilindro di legno, quindi passa sul cilindro metallico *A*, vi si avvolge replicatamente, e va quindi a fissarsi all'estremità del medesimo. Finalmente due viti di pressione *n* ed *o*, le quali tengono fissi i conduttori della corrente che vuolsi osservare, comunicano per mezzo di due lamine di acciaio, una col cilindro di ottone *A*, l'altra coll'anello *a*. Se dunque una corrente entra per *o*, dovrà percorrere tutta la lunghezza della porzione del filo che si trova nel solco ad elica del cilindro di legno, dal quale passando sul cilindro metallico verrà all'altro polo della pila, senza essere astretta a percorrere la rimanente lunghezza del filo avvolta sopra questo secondo cilindro. E siccome facendo rotare opportunamente il cilindro *B* si avvolgerà sul medesimo maggior porzione di filo, ed invece facendo rotare il cilindro *A* si farà rimanere minor porzione del filo sul primo, si potrà obbligare la corrente a percorrere quella porzione di filo che piacerà, e quindi le si potrà opporre quella resistenza che vorremo. Onde conoscere quale lunghezza di filo si è interposta nel circuito, vi sono due indici che percorrono due quadranti allorquando i cilindri ruotano, e dal numero de' gradi che indicano si ha la misura richiesta.

Ciò premesso, supponiamo che nel circuito di una pila, si trovi un galvanometro ed un conduttore di cui si voglia misurare la resistenza, ossia la lunghezza ridotta: dopo aver notato la deviazione del galvanometro, si toglie il conduttore

dal circuito e vi si sostituisce il reostato avvolgendo sul cilindro di legno tanto filo che basti per avere lo stesso deviatore nel galvanometro. La lunghezza di questo filo sarà appunto la resistenza che si cercava, ossia la lunghezza ridotta del conduttore.

Per conoscere la lunghezza ridotta del filo del galvanometro si scelgono due coppie che diano la corrente della stessa intensità, ossia che generino la stessa deviazione dell'ago; notata questa deviazione si mettono l'una presso l'altra, e si chiude il circuito col galvanometro e col reostato; la lunghezza del filo di questo, necessaria perchè l'ago del galvanometro devii egualmente di prima, denoterà la lunghezza ridotta o la resistenza del galvanometro.

Volendo poi conoscere la lunghezza ridotta della interna resistenza della pila, dopo di aver chiuso il circuito col galvanometro e col reostato, si uniscono ai capi del galvanometro quelli di un altro filo di egual resistenza, onde l'intensità della corrente sia ridotta a metà. Allora affinchè il galvanometro possa dare la stessa indicazione di prima converrà che la lunghezza ridotta del circuito sia ridotta a metà, e si diminuirà la lunghezza del filo reostatico fino a che il galvanometro dia la stessa indicazione che aveasi prima di diminuire l'intensità della corrente, ed allora è chiaro che la lunghezza ridotta sarà la metà di quello che era prima; ma quella del galvanometro e del reostato sono note; si ricaverà quindi facilmente quella della pila.

Volendo paragonare fra loro due elementi voltiani o due pile qualunque, basterà adoprare circuiti di varia lunghezza onde ottenere sempre la stessa deviazione al galvanometro. È evidente che le forze elettromotrici saranno proporzionali alle lunghezze dei circuiti interposte.

La legge di Ohm, verificata dall'esperienza, ha servito a spiegare con tutta l'evidenza le differenze presentate dalle varie pile. Infatti deve avvenire che accrescendo egualmente la lunghezza del circuito di due diverse pile, se ne ottengano anche degli effetti molto diversi fra loro, quantunque in origine la loro corrente fosse egualmente intensa. Si abbiano, a cagion d'esempio, due pile, una cioè termoelettrica e quindi formata

interamente di sostanze metalliche, e un'altra idroelettrica, di zinco cioè e di rame immersi nell'acqua. Quantunque da queste due pile possa aversi una corrente della stessa intensità con un dato circuito, sarebbe però erroneo il credere che le due pile abbiano l'istessa forza elettromotrice. Ed infatti nella pila termoelettrica essendo il circuito interno tutto metallico, la sua corrente ha da vincere una resistenza molto minore di quella della pila col liquido. La forza elettromotrice di questa seconda dev'essere per conseguenza più grande di quella della prima, nel rapporto stesso delle rispettive resistenze. L'esperienza ha dimostrato che in una certa pila termoelettrica di bismuto e di rame, la resistenza essendo espressa da 1, nella pila idroelettrica di rame e zinco, la resistenza era 95: nello stesso rapporto di 1 a 95 sono per conseguenza anche le forze elettromotrici delle due pile. Qualora si allunghi egualmente il circuito di queste due pile ne deve risultare una grande differenza nella forza delle due correnti. Aggiungendo una unità di resistenza alla pila termoelettrica, la resistenza totale diventa doppia, mentre nella pila idroelettrica l'aumento della resistenza è piccolissimo, essendo cioè di $\frac{1}{95}$.

Teoria di De la Rive sull'azione delle pile idroelettriche. De la Rive ammettendo esclusivamente le azioni chimiche come causa dello svolgimento dell'elettricità nelle pile idroelettriche ha dato una teoria delle medesime, la quale si accorda perfettamente colle leggi ora esposte. Egli opina che in una pila composta di varie coppie, la elettricità che si svolge nelle coppie intermedie si neutralizzi incessantemente, e solo si trasporti in corrente quella che si raccoglie nelle cellule estreme, e però la quantità di elettricità che si ottiene da una pila di molte coppie è pari a quella che si avrebbe da una coppia sola; ma non così è della tensione, perocchè le molte coppie impediscono alle tensioni polari di neutralizzarsi, per la resistenza che oppongono al passaggio dell'elettrico, e quindi lo rendono atto a superare più grandi resistenze e ad attraversare più lunghi circuiti. Onde quanto più le coppie sono numerose e il liquido è cattivo conduttore, tanto maggiore è la tensione ai poli. Questa tensione poi deve andare scemando verso il mezzo della pila in cui deve diventare nulla.

La forza della corrente di una pila di cui il circuito interpolare è un filo metallico può essere espressa dalla formula

$$F = \frac{n E}{\frac{n R D + r l}{S}}$$

nella quale E è la forza elettromotrice di un solo elemento, n il numero degli elementi, R la resistenza specifica del liquido, D la grossezza dello strato liquido o la distanza fra una lamina e l'altra, S la sezione del liquido, r la resistenza specifica del filo metallico, l la sua lunghezza, s la sua sezione.

Da questa formula si deducono le seguenti leggi relative alla energia delle pile idroelettriche.

1.° La forza elettromotrice di un circuito varia col numero degli elementi e colla natura dei metalli e dei liquidi di ogni elemento, essendo proporzionale alla forza delle affinità chimiche che sono in azione, e non dipendendo minimamente dalle dimensioni di ognuna delle loro parti ;

2.° La resistenza di ogni elemento è direttamente proporzionale alla distanza a cui si trovano le lamine l'una dall'altra e alla resistenza specifica di questo liquido, e inversamente proporzionale alla superficie delle lamine in contatto del liquido;

3.° La resistenza del filo congiuntivo è inversamente proporzionale alla sua sezione ;

4.° Infine il massimo effetto di una data pila , il cui circuito è chiuso da un arco di una certa resistenza , è quando la resistenza della pila eguaglia quella dell'arco.

Fenomeni di tensione della pila. La tensione di una pila è la tendenza della elettricità accumulata alle sue estremità a svilupparsi e a vincere gli ostacoli che si oppongono alla sua diffusione. Allorquando il circuito di una coppia o di una pila voltaica non è chiuso, possono dal medesimo ottenersi dei fenomeni rimarchevoli di tensione elettrica. Quando parliamo della teoria della forza elettromotrice supposta dal Volta, dicemmo come era possibile caricare con una o più coppie, sia il condensatore sia una bottiglia di Leida. Allorquando si pongono a contatto le estremità dei reofori di una pila formata da un certo numero di elementi, si vede scoccare una scintilla, ed un'altra pure si produce quando si staccano l'uno dall'altro

i due reofori. È in queste scintille che consiste il principale fenomeno di tensione delle pile. Esso adunque manifestasi nell'istante in cui la corrente comincia a circolare ed in quello ancora in cui cessa. La circostanza principale da cui dipende la tensione di una pila consiste nel numero dei suoi elementi. Da uno o da pochi elementi riuniti difficilmente si ottiene la scintilla; invece da una pila di un gran numero di coppie le scintille che ottengono sono tanto più lunghe e numerose quanto maggiore è il numero di esse. Con otto o dieci coppie di Bunsen si ottengono dei brillanti fiocchi luminosi, quando si faccia comunicare uno degli elettroidi con una lima di ferro grossolana, e scorrere l'altro sulle scabrosità della medesima.

Le pile termoelettriche, a motivo della debolissima loro tensione, non danno scintille: non di meno l'Antinori rinforzando la loro tensione con artifizi dei quali diremo il principio trattando delle correnti d'induzione, ottenne qualche scintilla anche da esse.

Non devesi confondere la tensione di una pila colla *quantità* di elettricità che essa può sviluppare. La prima dipende come abbiamo detto, specialmente dal numero delle coppie, mentre la seconda, quando le altre circostanze siano identiche, dipende dalla superficie delle coppie. Quanto più grande è questa superficie, tanto maggiore, a tensione eguale, è la quantità di elettricità che circola nella pila. Questa quantità cresce anche colla conducibilità del liquido interposto nelle coppie; la tensione al contrario è indipendente dalla natura di questo liquido.

Correnti derivate. Se si applicano le due estremità di un arco metallico sopra due punti di un circuito percorso dalla corrente elettrica è chiaro che una porzione della corrente passerà nel medesimo e circolerà attraverso di esso. Questa corrente prende il nome di *derivata*, e l'arco aggiunto quello di *circuito di derivazione*. La spartizione della corrente primitiva nei due circuiti dipende dalla legge della resistenza dei circuiti. La porzione di corrente che abbandona il circuito primitivo e passa nel circuito derivato è necessariamente tanto più grande quanto maggiore è la resistenza della porzione del circuito primitivo compresa tra le estremità del derivato, e quanto minore è la resistenza di quest'ultimo. Quindi è che

le correnti derivate sono proporzionali alla sezione ed alla conducibilità del filo di derivazione, alla distanza dei punti di derivazione ed alla resistenza dell'intervallo del circuito primitivo che separa questi punti.

3.° Effetti delle correnti elettriche.

Gli effetti che la corrente elettrica produce nel suo passaggio attraverso i corpi si distinguono in fisici, meccanici, chimici e fisiologici.

1.° *Effetti fisici.* Gli effetti fisici, i quali si dividono in calorifici e luminosi, dipendono principalmente dalla quantità di elettricità circolante nella pila, e per conseguenza dalla superficie delle coppie. Gli effetti chimici al contrario, come i fisiologici, dipendono dalla tensione e per conseguenza dal numero delle coppie.

Fenomeni calorifici. Cominceremo dai fenomeni calorifici, ossia di riscaldamento. Una corrente voltaica che attraversi un filo metallico produce gli stessi effetti della scarica di una batteria: il filo si scalda, diventa incandescente, si fonde o si volatilizza secondo che è più o meno lungo e di maggiore o minor diametro. Facendo passare la corrente in fili metallici di diametri e di lunghezze eguali ma di differenti sostanze, Children costatò che si scaldano maggiormente quelli che hanno minore conducibilità elettrica; e se si prendono fili dello stesso metallo, ma di diametro e di lunghezza differenti, i più lunghi e più sottili sono quelli che più si riscaldano; d'onde conchiuse che gli effetti calorifici della pila sono dovuti alla resistenza che incontra la corrente nell'attraversare i corpi. Con una pila potente si fondono tutti i metalli, anche l'iridio ed il platino che resistono ai più intensi fuochi di fucina. Despretz assicura di aver rammollito ed ottenuto delle tracce di fusione anche sul carbone che è di tutti i corpi il più refrattario, mediante una pila di 600 coppie. I sottili fili di rame, d'oro, d'argento si volatilizzano rapidamente producendo vive scintille di variati colori.

Abbiamo già indicato che gli effetti calorifici dipendono dalla quantità di fluido elettrico che costituisce le correnti

piuttosto che dalla tensione, ossia dipendono più dalla superficie delle coppie che dal loro numero. Infatti con una sola coppia di Wollaston in cui lo zinco abbia 300 centimetri quadrati di superficie si giunge a fondere un filo sottile di ferro.

In questi ultimi tempi si è proposto di applicare l'istantanea incandescenza prodotta nei sottili fili metallici nel passaggio della corrente, all'accensione delle mine; e molte esperienze tentate in proposito hanno avuto un ottimo successo. Si dispone un sottil filo metallico avvolto a spirale in mezzo alla mina, e si fa comunicare mediante un lungo circuito metallico isolato (1) con una conveniente pila, o con altro apparecchio atto a produrre delle correnti elettriche. Non appena ambedue i poli della pila son posti in comunicazione colle due estremità del circuito suddetto, che l'incandescenza della spirale metallica ha luogo, ed in conseguenza l'esplosione della mina.

Edmondo Becquerel e Botto hanno determinato separatamente le leggi relative allo svolgimento di calorico dovuto al passaggio della corrente elettrica attraverso i corpi solidi. Queste leggi sono le seguenti:

1.^o *La quantità di calorico sviluppata è in ragione diretta del quadrato della quantità di elettricità che passa in un dato tempo.*

2.^o *Questa quantità di calorico è in ragione diretta della resistenza del filo al passaggio della elettricità.*

3.^o *Qualunque sia la lunghezza del filo, purché abbia da per tutto lo stesso diametro e passi in ogni suo punto la stessa quantità di elettricità, l'innalzamento di temperatura è lo stesso in tutta l'estensione del filo.*

4.^o *Per una stessa quantità di elettricità, l'elevazione di temperatura è in ragione inversa della quarta potenza del diametro del filo.*

Se si fa passare una corrente elettrica attraverso un arco formato da due fili metallici differenti saldati insieme, il maggior riscaldamento si osserva nella saldatura. Per istudiare

(1) I fili metallici destinati a servire di circuito alle pile, quando vogliono isolarsi dal terreno su cui debbono riposare, si avvolgono in uno strato di gutta-perca.

questi fenomeni Peltier si è servito di un mezzo termoscopico delicatissimo che gli ha permesso di fare uso anche di pile non molto forti. Consiste in una coppia termoelettrica di bismuto e antimonio, unita ai capi del galvanometro. Si posa sulla saldatura della coppia il filo metallico percorso dalla corrente, interponendo una lamina qualunque che senza distruggere la propagazione del calore impedisca il passaggio della corrente riscaldante. L'ago del galvanometro indica colle sue deviazioni il riscaldamento comunicatosi alla coppia termoelettrica pel contatto del filo metallico percorso dalla corrente.

Peltier studiando in questa guisa il riscaldamento prodotto su archi di metalli molto diversi, scoperse un fatto singolarissimo, vale a dire che se si fa passare la corrente d'una pila non tanto forte attraverso un arco formato di una verga d'antimonio e di un'altra di bismuto saldate insieme, quando la corrente è diretta dall'antimonio al bismuto v'ha riscaldamento, mentre che se è diretta dal bismuto all'antimonio la saldatura si trova invece *raffreddata*. Se però la corrente è molto intensa, v'ha riscaldamento anche in questo secondo caso, ma sempre in assai minor grado che nel primo. Peltier avea creduto di potere stabilire che eravi raffreddamento in tutti quei casi in cui la corrente passava attraverso la saldatura di due metalli andando dal cattivo conduttore al buono. Ma il Pacinotti ravvicinando questi fenomeni a quelli della corrente termoelettrica che si ha riscaldando la saldatura di due metalli, è giunto a questo risultato generale: *che la corrente voltaica produce freddo quando è mandata in una coppia metallica in quella direzione in cui suole eccitarsi la corrente termoelettrica riscaldando la congiunzione dei due metalli.*

I liquidi pure sono fortemente riscaldati dal passaggio della corrente; ma è in essi assai più difficile determinare esattamente gli effetti calorifici, sia perchè questi corpi hanno un calorico specifico maggiore dei solidi, sia ancora perchè i gas che si svolgono nel passaggio della corrente assorbono una grande quantità di calorico latente. Così per es. nel passaggio della corrente attraverso l'acqua l'elevazione di temperatura

è assai minore al polo negativo che al positivo, perchè al primo si svolge un volume doppio di gas che nell'altro. Edmondo Becquerel, cercando di eliminare le cagioni di errore, ha trovato che nei casi in cui non v'è svolgimento di gas, il calore prodotto dalla corrente nel suo passaggio pei liquidi era sempre, come pei metalli, proporzionale al quadrato della quantità di elettricità e in ragione inversa della conducibilità.

Fenomeni luminosi. Quanto agli effetti luminosi della pila, può dirsi senza tema di errare che essa è la più intensa sorgente artificiale di luce. I fenomeni luminosi della pila si manifestano con scintille o coll'incandescenza delle sostanze che riuniscono i due poli. Abbiamo già detto in quali circostanze si ottengono le scintille più numerose e più brillanti da una pila; parleremo adesso degli effetti luminosi dovuti all'incandescenza dei conduttori traversati dalla corrente. Sono questi i più rimarchevoli e i più grandiosi.

Un filo di platino o di ferro che riunisca i due poli di una potente pila e che sia grosso abbastanza per non essere fuso, diventa incandescente e manda viva luce per tutto il tempo che dura l'azione della pila. Grove propose di applicare questo fenomeno alla costruzione di una *lampada di sicurezza* per i minatori di carbon fossile. Questa lampada dovrebbe consistere in un recipiente o globo di cristallo chiuso da ogni lato, nell'interno del quale per mezzo di due ghiere è teso un filo di platino piegato a spirale. Facendo comunicare le due ghiere metalliche coi reofori di due coppie di Grove o di Bunsen, la spirale diviene talmente incandescente da illuminare uno spazio assai considerevole.

Due coni di carbone scaldati dapprima fortemente in un vaso chiuso, indi lasciati raffreddare, posti l'uno assai vicino all'altro coi loro apici di contro ed in comunicazione coi poli della pila, diventano essi pure incandescenti e diffondono una luce talmente viva che è paragonabile soltanto a quella del sole. Davy è l'inventore di questa bella esperienza, che è stata dipoi ripetuta e variata da molti altri fisici. Egli eseguivala in un globo di cristallo, che abbiamo rappresentato nella *Fig. 57, Tav. II*, entro cui faceva il vuoto. I due coni di carbone potevano più o meno avvicinarsi mediante le due aste *A* e *B*,

mobili a sfregamento nelle ghiere del pallone e a cui erano uniti gli elettrodi. La pila che adoprava era formata di 2000 coppie di rame e zinco, e l'effetto luminoso era sorprendente.

L'esperienza riesce anche nell'aria con eguale se non con miglior successo, e può eseguirsi con un apparecchio simile a quello del Davy, facendo uso di un certo numero di elementi alla Bunsen. I due coni di carbone sogliono prepararsi col coke che rimane nelle storte dopo la preparazione del gas illuminante. Nel momento che si chiude il circuito della pila ponendo in contatto le due punte di carbone unite ai reofori, l'elettricità comincia a passare e le due punte divengono incandescenti. Allora allontanando lentamente le due punte l'una dall'altra, un arco luminoso si forma e persiste anche quando l'intervallo tra le due punte giunge ad essere di varj millimetri (*Fig. 58, Tav. II*). Bunsen con una pila di 48 dei suoi elementi ha ottenuto un arco luminoso lungo 7 millimetri; e Despretz con una pila di 600 coppie di Bunsen ne ottenne uno di 183 millimetri.

Quest'arco luminoso non è altro che una specie di conduttore, il quale congiunge i due poli, formato da materia estremamente divisa e luminosa che si stacca dai due coni di carbone. Egli è per questa ragione che dopo un certo tempo i due carboni si trovano alquanto consumati nella loro punta ed anco assai discosti tra loro da non dar più passaggio all'elettricità, per cui il fenomeno luminoso s'interrompe, ed è necessario nuovamente accostarli per riprodurlo. Nell'aria il consumo dei carboni è maggiore che nel vuoto, imperocchè le loro estremità, quantunque lentamente, ardono per l'ossigeno atmosferico. Tutti i fisici, incominciando da Davy, hanno notata una differenza nei fenomeni che presentano i due poli di carbone durante l'arco luminoso. Si vede generalmente che le particelle di carbone si staccano a preferenza dal polo positivo, e vi generano una cavità, mentre si raccolgono in gran parte sul polo negativo il quale aumenta alquanto di volume. La *Fig. 59, Tav. II*, rappresenta l'immagine dei due poli di coke, progettata col mezzo di lenti sopra un diaframma entro una camera oscura, nel momento in cui si produce il fenomeno luminoso. I globuli che nella figura si scorgono su i due car-

boni provengono dalla fusione di una piccola quantità di silice che contengono. Quando incomincia a passare la corrente diventa luminoso pel primo il carbone negativo, ma il positivo ha la maggior lucentezza, ed è anche quello che si consuma più presto: perciò conviene sceglierlo di maggiori dimensioni.

Un effetto luminoso di tanta intensità quale si è quello ora descritto fece bentosto nascere il pensiero di applicarlo all'illuminazione delle strade e delle piazze. Non v'ha ormai alcuna grande città in Europa, in cui non siasi sperimentata l'illuminazione di qualche piazza o di altro pubblico locale mediante l'elettricità; e l'esperienza ha avuto dovunque un grande successo per la vivacità della luce ottenuta, che di gran lunga ha superato quella di ogni altra sorgente artificiale e il cui splendore ha solo potuto paragonarsi con quello del sole. Ma il grave ostacolo di questa applicazione ha sempre consistito nell'alterazione che soffrono le estremità dei carboni, per cui la luce talora addiviene incerta ed anco talvolta si estingue del tutto. Oggidi per altro si sono immaginati varj meccanismi destinati a render costante la distanza fra le due punte di carbone che vanno via via consumandosi, e con ciò ad impedire che la luce s'indebolisca o si estingua; e sembra che alcuni abbiano dato un ottimo risultato. Uno di questi *regolatori* della luce elettrica è stato immaginato dall'abile costruttore Deleuil, ed è quello che passiamo a descrivere.

L'intero apparato del Deleuil è composto di un treppiede di ghisa (*Fig. 60, Tav. II*) sul quale sono fissati i due carboni ed il regolatore che li mantiene a distanza costante. Il carbone negativo è sostenuto da un'asta metallica che scorre a sfregamento dolce in un sostegno *D*, ma che una volta disposta nel modo opportuno, deve rimaner fissa. Il carbone positivo *P* ascende successivamente per effetto della stessa corrente di mano in mano che la distanza dei carboni tende a crescere. Si ottiene questo risultato per mezzo del regolatore fissato al di sotto del treppiede e rappresentato a parte nella figura 61. Una leva *A* attaccata per un capo ad una molla a spirale *B*, può oscillare sopra un pernio *L*; ma i suoi movimenti sono limitatissimi perchè è trattenuta all'altro capo tra le punte di due viti che si dispongono in un modo da permetterle soltanto

un piccolissimo movimento. La leva *A* tende a ruotare in un verso, per effetto della molla *B*, e nel verso contrario per effetto di un'elettromagnete *E* (1). Questo pezzo consiste in un cilindro di ferro dolce circondato da un filo di rame coperto di seta, nel quale passa la corrente stessa che va ai carboni. Questo cilindro così disposto ha la proprietà di diventare una potente calamita quando la corrente passa nel filo, ma cessa di esserlo al cessare di questa. Infine una piccola lamina di acciaio fissata all'estremità della leva *B*, si appoggia in *T* sopra piccoli denti disposti a sega lungo l'asta *K* che porta il carbone positivo *P*, e trasmette a quest'ultimo il movimento della leva. Ciò posto, quando la corrente passa con tutta la sua intensità nel filo dell'elettromagnete quest'ultimo attrae un'armatura di ferro *m* fissata alla leva *A*, ed il braccio di leva che è a destra del perno *L* si abbassa e trae seco la lamina *T* senza che questa faccia discendere l'asta *K*, perchè la parte curva della lamina non ingrana nei denti dell'asta se non nell'ascesa. Al contrario se la distanza dei carboni aumenta e quindi la corrente s'indebolisce, non potendo più l'elettromagnete fare equilibrio alla molla *B*, il braccio di leva che si è abbassato precedentemente si rialza, e per mezzo della lamina indicata fa ascendere l'asta *K* di un quarto di millimetro. Avvicinati così i carboni la corrente diviene più intensa e l'elettromagnete agisce di nuovo. Rinnovandosi periodicamente questa serie di movimenti ogni volta che la corrente tende a indebolirsi, la intensità rimane sensibilmente costante. Il pezzo *C* serve a regolare la molla *B*. L'andamento della corrente è indicato sulla figura 60 dalle frecce. Il tubo cilindrico di vetro che circonda i carboni è destinato a difenderli dalle correnti d'aria che li raffredderebbero. Dirimpetto ai carboni trovasi uno specchio concavo metallico *R*, amovibile a piacere, destinato a riflettere parallelamente i raggi luminosi.

(1) Vedremo più innanzi che un'elettromagnete consiste in un pezzo di ferro dolce avvolto da un filo di rame isolato, attraverso del quale si fa passare la corrente elettrica. Durante il suo passaggio il pezzo di ferro dolce diventa una vera calamita capace di attrarre il ferro e l'acciajo; ma tosto che essa cessa, il medesimo ritorna inerte.

2.^o *Effetti meccanici.* Porret nel 1816 scoprì che la corrente elettrica ha la facoltà di trasportare un liquido dal polo positivo al polo negativo. Difatto, abbiassi un recipiente di vetro diviso in due compartimenti da un corpo poroso, come p. es. una membrana di vescica: ponendo dell'acqua in questi compartimenti e facendo pescare in uno il reoforo positivo, nell'altro il negativo di una pila, si vedrà il liquido elevarsi nel secondo compartimento e deprimersi nel primo.

Anche Becquerel ha scoperto dei fatti analoghi. Si abbiano due tubi di vetro *A* e *B* (Fig. 62, Tav. II) aperti alle estremità; si applichi ad una di queste estremità un tappo di argilla chiudendo con tela gli orifizj, e s'immergano i due tubi pieni di acqua in una massa *V V'* dello stesso liquido; quindi si faccia passare una corrente introducendo i due reofori nei liquidi dei due tubi: si vedrà poco dopo spargersi nella massa liquida l'argilla che comunica col polo positivo.

Un altro effetto meccanico della corrente si è quello trovato dal Wertheim. Egli si è assicurato che la corrente elettrica produce una diminuzione temporaria nel coefficiente dell'elasticità dei fili che percorre, e ciò per un'azione propria e quindi indipendente dalla diminuzione che proviene dalla elevazione di temperatura. Questo effetto della corrente è proporzionale alla sua intensità ed alla resistenza che incontra nel filo metallico. È naturale di supporre che un'eguale influenza sia esercitata dalla corrente sulla coesione dei fili metallici che percorre. Egli è certamente a quest'effetto che è dovuto il fenomeno che presenta una corda metallica tesa, fatta vibrare mentre è percorsa dalla corrente, di rendere un suono assai più basso di prima.

3.^o *Effetti chimici* (1). La corrente attraversando i liquidi li scompone. Alcuni corpi si scompongono con correnti assai deboli ed altri richiedono correnti molto energiche, ma in generale gli effetti chimici vogliono molta tensione. Il primo fenomeno elettrochimico conosciuto fu la decomposizione dell'acqua. Alcuni ne attribuiscono la scoperta ai fisici italiani

(1) Per la perfetta intelligenza di quanto esporremo intorno a questo soggetto si richiede la cognizione degli elementi della chimica.

Volta e Brugnatelli, altri agl'inglesi Nicholson e Carlisle. Quello che è certo si è che il fatto della decomposizione dell'acqua colla corrente, fu tra le prime mirabili proprietà rinvenute alla pila a colonna del Volta. Allo scopo di ottenere facilmente la separazione dei componenti dell'acqua serve oggidi un apposito strumento chiamato *Voltmetro* e *Voltaimetro*. Consiste in un bicchiere di vetro (*Fig. 63, Tav. II*) a piede, dal fondo del quale, mercè due sottili fori praticativi, si elevano verticalmente due fili di platino *P* ed *N*, alti due a tre centimetri. Si riempie il bicchiere di acqua leggermente acidulata con acido solforico, e vi si rovesciano dentro due campanine graduate, di vetro, piene dello stesso liquido, introducendole sotto l'acqua del bicchiere. Si dispongono queste campanine in modo che in ognuna di esse penetri uno dei due fili di platino. Ciò fatto si uniscono le estremità di questi fili che sporgono fuori del bicchiere, l'uno al polo o elettrodo positivo, l'altro al polo o elettrodo negativo, di una pila formata da un certo numero di coppie (1). Tosto vedesi un torrente di bolle gassose sollevarsi nell'interno delle due campanine partendo da ognuno dei fili di platino. Se la corrente s'interrompe, anche lo svolgimento dei gas cessa immediatamente. Se si esaminano separatamente i due gas raccolti nelle campanine, si trova che quello svolto al polo positivo è ossigeno puro, e quello svolto al polo negativo è idrogeno puro. Inoltre misurando i volumi di questi due gas si rinvencono tali da riprodurre esattamente l'acqua: in altri termini il volume dell'idrogeno raccolto al polo negativo è doppio del volume dell'ossigeno raccolto al polo positivo, precisamente nel modo che la chimica insegna essere costituita l'acqua.

Il voltmetro può essere applicato alla misura della intensità delle correnti poderose, imperocchè la quantità in peso o in volume degli elementi gassosi in esso separati è proporzionale alla quantità di elettricità che passa nella corrente.

Le combinazioni dell'ossigeno e dei metalli, cioè gli ossidi metallici si lasciano pure decomporre dalla corrente allorchè sono resi liquidi o per via di soluzione o per via di fusione.

(1) Faraday chiama *anodo* il polo positivo, e *catodo* il polo negativo.

Dagli ossidi così liquefatti si hanno il metallo al polo negativo della pila e l'ossigeno al polo positivo. Le quantità dei due corpi, ossigeno e metallo, che in tal guisa si separano, sono sempre tali che possono ricombinandosi riprodurre esattamente la quantità dell'ossido che è stata decomposta. Un tal risultato si verifica facilmente decomponendo colla corrente l'ossido di piombo o quello di bismuto allo stato di fusione. Anche gli ossidi solubili nell'acqua si lasciano decomporre obbedendo a questa stessa legge, e se in qualche caso appaiono differenze, esse sono una conseguenza delle azioni chimiche ordinarie che insorgono a complicare il fenomeno. Così allorché si decompone una soluzione di potassa colla corrente elettrica, si ha l'ossigeno al polo positivo; e al polo negativo invece del potassio si ottiene la potassa che si discioglie nel liquido mentre si svolge una quantità equivalente d'idrogeno; e ciò non può accadere diversamente perocché il potassio decompone l'acqua a freddo, formando appunto potassa e idrogeno. Ora questo idrogeno, che è un *prodotto secondario* della corrente, è in quantità chimicamente equivalente al prodotto primitivo della corrente stessa.

Le celebri scoperte di Davy dipendono tutte dall'azione elettrochimica della corrente. Questo illustre chimico agendo con pile molto energiche, scoprì nel 1807 che le terre e gli alcali, creduti fino allora corpi semplici, erano invece corpi composti; che la potassa, la soda, la calce ec., erano combinazioni di ossigeno coi nuovi metalli potassio, sodio, calcio ec. Con questa importante scoperta fu aperta una nuova era alla chimica.

Gli ossiacidi sono decomposti nella stessa guisa degli ossidi: il loro ossigeno si porta sempre al polo positivo, il radicale al negativo. Le combinazioni dell'idrogeno col cloro, coll'iodio, col bromo, cioè gli acidi idroclorico, idrojodico ec., sono pure scomposti dalla corrente elettrica. Il cloro, l'iodio, il bromo si sviluppano al polo positivo e l'idrogeno al polo negativo.

Le combinazioni del cloro, jodio ec. coi metalli, o fuse o disciolte nell'acqua, si lasciano pure decomporre dalla corrente. In ogni caso il metallo si separa al polo negativo, e il cloro, l'iodio ec. al positivo; ed anche in queste decomposizioni accade

sempre che le quantità così separate di questi corpi sono equivalenti fra loro, vale a dire tali da ricostituire esattamente la quantità della loro combinazione che è stata decomposta. Anche in questi casi vi possono essere dei prodotti elettrochimici secondari. Così se si decompone colla corrente l'ioduro di potassio sciolto nell'acqua, adoperando come poli i soliti sottili fili di platino, non si ha già il potassio al polo negativo, ma in sua vece la potassa e l'idrogeno, che sono i prodotti dell'acqua scomposta dal potassio. Se invece di usare fili di platino si adoperano fili di ferro o di rame, in luogo di jodio libero si ottiene l'ioduro di ferro o di rame.

I composti salini, vale a dire le combinazioni degli acidi cogli ossidi, sono parimente decomposti dalla corrente allorchè sono allo stato liquido, sieno disciolti o sieno fusi. Gli effetti di queste decomposizioni variano però colle affinità chimiche e colla energia delle correnti. Se l'acido e la base del sale sono stabili, vengono soltanto separati, ed allora l'acido si trasferisce sempre al polo positivo, l'ossido al negativo; così è dei solfati, carbonati, e fosfati dei metalli delle prime due sezioni. Se l'acido è poco stabile viene decomposto, ed il suo ossigeno si reca al polo positivo. Se l'ossido è debole, il solo metallo ridotto recasi al polo negativo, mentre l'acido e l'ossigeno dell'ossido si recano al polo positivo: ciò appunto avviene coi sali di piombo, di rame, di argento, ed in generale coi sali delle tre ultime sezioni. Infine, se avviene che siano completamente ridotti l'acido e l'ossido, tutto l'ossigeno si reca al polo positivo mentre i due radicali si trasferiscono all'altro polo.

A dimostrare la decomposizione dei sali operata dalla pila serve un tubo di vetro curvato ad *U*, nel quale si versa una dissoluzione di solfato di potassa o di soda, colorata in azzurro per mezzo dello sciroppo di viole. Nei due rami del tubo s'immergono due lamine di platino, che si pongono poi in comunicazione cogli elettrodi della pila. Se si adoperano tre o quattro coppie di Bunsen si osserva dopo pochi minuti che il liquido contenuto nel ramo comunicante col polo positivo, si colora in rosso, mentre quello del ramo che comunica col polo negativo si colora in verde; onde risulta che l'acido del sale si

è portato al polo positivo e la base al negativo, perchè si sa che il siroppo di viole ha la proprietà di arrossare per l'azione degli acidi e d'inverdire per l'azione delle basi. È inutile ripetere che anche nella decomposizione dei sali colla corrente, vi possono essere dei prodotti secondarj come nella decomposizione degli ossidi e dei cloruri.

Leggi dell'azion chimica della corrente. - 1.° La quantità di una combinazione scomposta dalla corrente è sempre proporzionale alla quantità d'elettricità che è trasmessa per quella combinazione.

Per dimostrare questa legge si costruiscono alcuni voltametri simili a quello descritto, e solamente diversi fra loro per l'estensione degli elettrodi, per la distanza o grossezza dello strato liquido e per la maggiore o minor quantità d'acido aggiunto all'acqua. Si fa passare la corrente di una pila per tutti questi voltametri riuniti insieme, cioè posti l'uno di seguito all'altro. La quantità d'acqua che è scomposta, la quale è misurata dal volume de' due gas sviluppati, si trova eguale in tutti i voltametri. Questa quantità dei gas sviluppati benchè eguale in ogni caso nei diversi voltametri, è però sempre regolata dalla quantità che si raccoglie nel voltmetro di cui il liquido ha la minore conducibilità, perchè dipende dalla quantità d'elettricità che può attraversare quel circuito.

Per meglio dimostrare questa legge si possono disporre tre voltametri simili, in modo che la corrente passi interamente per uno V , e venga divisa nel suo passaggio per gli altri due v , v (Fig. 64, Tav. II). In questo caso la quantità d'acqua che è scomposta in ognuno dei due voltametri in cui la corrente è la metà, è pure la metà di quella scomposta nel primo voltmetro: se i voltametri fossero tre, la quantità scomposta in ognuno sarebbe un terzo di quella scomposta nel voltmetro in cui la corrente passa intera. Dal che risulta ben provato che l'azione elettrochimica della corrente è sempre proporzionale alla corrente stessa.

2.° Quando una stessa corrente attraversa una serie di composti chimici diversi, i pesi degli elementi che si separano stanno tra loro come gli equivalenti chimici di questi. Questa legge scoperta da Faraday, è detta degli equivalenti elettrochimici. Se si

fa passare una medesima corrente nello stesso tempo attraverso l'acqua, il protocloruro di stagno, l'ioduro di piombo, l'ossido di bismuto, il solfato di rame ec. ec., si trova che le quantità d'idrogeno, stagno, piombo, bismuto ec. ec. separate sui fili che comunicano col polo negativo stanno fra loro come i numeri che rappresentano gli equivalenti chimici di questi elementi.

3.^o *La quantità d'azion chimica da cui nasce la corrente, è equivalente all'azione elettrochimica o di decomposizione, che la medesima induce.* Questa legge è stata da noi già indicata trattando delle pile a forza costante. Diciamo adesso più esattamente in che consiste. Si prenda una pila ad un solo o a più elementi, formata con zinco amalgamato e il cui liquido consista in acqua acidulata con acido solforico ovvero in acido cloridrico, e se ne faccia passare la corrente attraverso un voltmetro. Si troverà sempre che la quantità di zinco disciolta in ogni coppia di questa pila, è sempre equivalente alle quantità di zinco e idrogeno raccolte nel voltmetro. Se la corrente si facesse passare attraverso una soluzione di solfato di rame si troverebbe che sul polo negativo della pila si precipiterebbe all'incirca tanto rame quanto zinco si discioglie in ogni coppia, ed infatti gli equivalenti di questi due metalli sono presso a poco gli stessi. Si vede adunque che tanta è l'azion chimica che ha dato origine alla corrente quanta è quella che questa è capace di produrre.

Teoria elettrochimica dell'affinità. Una delle più rimarchevoli deduzioni dello studio dei fenomeni chimici dell'elettricità, si è la teoria elettrochimica immaginata da Berzelius per ispiegare i fenomeni dell'affinità. Abbiamo visto che l'idrogeno, i metalli, le basi, separandosi dalle loro combinazioni sotto l'azione della corrente si sviluppano sempre al polo negativo, mentre l'ossigeno, il cloro, l'iodio, gli acidi si ottengono sempre al polo positivo. Berzelius perciò ammesse che ai corpi appartenessero stati elettrici contrarj a quello del polo a cui si portano. Inoltre suppose che l'affinità fosse l'effetto dell'attrazione degli stati elettrici appartenenti alle molecole elementari; le combinazioni risultassero dalla neutralizzazione di questi medesimi differenti stati elet

trici; e la luce ed il calore che si manifestano nelle combinazioni chimiche altro non fossero che la luce ed il calore stesso che sono ordinariamente l'effetto della scarica di contrarj stati elettrici.

Il Berzelius ordinò tutti i corpi semplici secondo le loro tendenze elettriche, e quindi secondo il grado della rispettiva loro affinità, in modo che ciascun corpo preso nella serie è *elettronegativo* rispetto a quelli che lo seguono, ed *elettropositivo* rispetto a quelli che lo precedono; e la loro affinità è tanto maggiore, quanto più sono lontani tra loro. L'ossigeno, il cloro, l'iodio sono in principio della serie, mentre il sodio, il potassio, l'idrogeno sono alla fine.

Si sono opposte a siffatta dottrina non poche obiezioni. Si dice p. es., come mai è possibile che le molecole dei corpi posseggano una sola elettricità o almeno ne abbiano una più forte dell'altra? Come intendere che uno stesso corpo sia ora elettropositivo ed ora elettronegativo? Come si potrà spiegare la coesione che unisce le molecole similari, e l'attrazione stessa che tiene uniti gli elementi di un composto dopo la loro combinazione? Si è tentato di eliminare queste difficoltà creando altre ipotesi; ma ogni teoria che ha bisogno dell'appoggio di molti principj ipotetici è sempre d'incerto valore. Sono però rimaste nella scienza le denominazioni di corpi elettropositivi ed elettronegativi.

Davy, partendo dalla teoria elettrica dell'affinità, immaginò un metodo ingegnoso per difendere il rame dei vascelli dalla corrosione che soffre pel contatto dell'acqua marina. L'Ammiraglio inglese avea richiamato l'attenzione del celebre chimico su questo soggetto, ed egli riflettendo che il rame veniva corrosa per effetto della propria ossidazione, e quindi per agire da corpo elettropositivo rispetto all'ossigeno, pensò che ciò non avrebbe più luogo, allorquando si riuscisse a fare agire il rame da corpo elettronegativo. Ma ciò era facile ad eseguirsi, poichè bastava porlo, come Volta avea insegnato, a contatto del zinco. L'esperienza corrispose al ragionamento, poichè avendo egli immerso nell'acqua del mare una lamina di rame isolata, ed un'altra unita ad una lamina di zinco, osservò che mentre la prima era bentosto corrosa, la seconda

si conservava intatta per lungo tempo. Fecesi adunque l'applicazione dell'esperienza di Davy al rame dei vascelli saldandovi dei pezzi di zinco, e si giunse realmente a preservarlo dalla corrosione, ma disgraziatamente si andò incontro ad un altro danno, forse peggiore del primo. Ecco in che consiste. Le lamine di rame unite a coppia collo zinco, immerse nell'acqua del mare, vengono a costituire il polo negativo della coppia, onde se l'ossigeno e gli acidi non vi esercitano più la loro azione, vi si depositano però gli ossidi insolubili de' composti salini dell'acqua marina, come sarebbero la calce e la magnesia, cosicchè la fodera metallica de' vascelli si ricuopre ben presto di grosse incrostazioni calcaree a cui attaccansi innumerevoli conchiglie, e il bastimento per la maggior resistenza che incontra nell'acqua, viene ingombrato nei suoi movimenti e reso più lento. Perciò l'Ammiraglio decise non potersi adottare l'espedito di Davy se non per i bastimenti che stanno fermi nei porti. Il processo di Davy è tuttavia sempre di grande importanza, e si applica frequentemente allorchè si hanno delle verghe o dei tubi di rame o di ferro immersi nell'acqua o nel terreno umido; così per quella porzione della verga del parafulmine che pesca nell'acqua, si usa sempre di difenderla dall'ossidazione coll'unirvi un pezzo di zinco.

Teoria di Grotthus sulle decomposizioni elettrochimiche. Il modo con cui Grotthus spiega la decomposizione chimica che la corrente induce nei composti binarij liquidi e la separazione ai poli dei loro elementi, è quello che più si accorda colla esperienza. Suppone questo fisico che sotto l'influenza delle elettricità contrarie degli elettrodi della pila produca nel liquido in cui esse immergonsi, una serie di decomposizioni successive da un polo all'altro, in modo che i soli elementi delle molecole estreme non ricomponendosi restino liberi a contatto dei poli. Allorquando, per esempio, l'acqua è attraversata da una corrente elettrica abbastanza energica, la sua molecola *a* che trovasi in contatto del polo positivo essendo formata di ossigeno e d'idrogeno che è elettropositivo, si orienta come mostra la *Fig. 65, Tav. II*; cioè l'ossigeno viene attratto e l'idrogeno respinto. Allora mentre l'ossigeno di questa molecola

recasi sul polo positivo, l'idrogeno messo in libertà si unisce immediatamente all'ossigeno della molecola *b*; poi l'idrogeno di quest'ultima si unisce all'ossigeno della molecola *c*, e così di seguito fino al polo negativo dove gli ultimi atomi d'idrogeno sono messi in libertà e si recano al polo. La stessa teoria si applica agli ossidi metallici ed ai sali.

Con questa teoria s'intendono facilmente i seguenti fenomeni studiati dal celebre Davy. Si prendano tre capsule o tre bicchieri pieni di liquido e si facciano comunicare tra loro per mezzo di tubi ricurvi pieni di acqua: in uno degli estremi vasi si ponga una soluzione salina; negli altri due dell'acqua; e s'immerga il polo negativo di una pila nella soluzione salina, ed il positivo nel terzo estremo vaso. La decomposizione del sale avrà luogo, e l'acido comparirà nella capsula in cui pesca il polo positivo, avendo perciò traversato la capsula intermedia. Nondimeno se tingeremo con tornasole l'acqua delle tre capsule, non vedremo affatto arrossare quella del mezzo, mentre si farà rossa nella terza in contatto del polo positivo. Ciò significa che nel passaggio della corrente, il sale non è decomposto o almeno vi è continuamente ricomposto nelle parti intermedie ai poli, mentre è solo a questi estremi che i suoi componenti rimangono liberi. Ma se in luogo della tintura di tornasole si pone nella capsula media la soluzione di un ossido, come p. es. la barite con cui l'acido solforico abbia una forte affinità, si vede l'acido solforico comparire in questa capsula e produrvi un abbondante precipitato bianco che è il solfato insolubile di barite. In questo caso, l'affinità della barite vince l'attrazione del polo positivo, sicchè l'acido non vi giunge; e si può dire che è la barite che fa da polo.

Correnti secondarie. Se mediante due fili o lamine di platino facciamo passare una corrente attraverso una soluzione salina, e dopo interrotto il circuito congiungeremo gli anzidetti fili o lamine co' capi del galvanometro, si vedrà passare una corrente diretta per verso contrario di quella della pila; vale a dire che ora la corrente uscirà per quel filo per cui prima entrava: questa corrente è detta *secondaria*, ed i fili o lamine che sieno, dicesi che hanno acquistato la *polarità se-*

condaria. Ora è chiaro che queste polarità doveano generare un'opposizione alla corrente primaria quando passava pel medesimo circuito, e quindi debbono fare lo stesso negli elementi della pila, i quali pure debbono col passaggio della corrente primaria nello stesso modo *polarizzarsi*, siccome sogliono dire i fisici. Non è poi necessario per avere la corrente secondaria che le lamine o i fili di platino restino nello stesso liquido in cui erano quando passava la corrente primaria; possono immergersi in un altro diverso e dare gli stessi risultati. La corrente secondaria si può avere anche con pile di pochissima forza.

La causa delle correnti secondarie è riposta in ciò, che sull'elettrodo positivo resta fissata o aderente una parte del corpo elettro negativo e sull'elettrodo negativo una parte del corpo elettro positivo, per cui cessata la corrente primaria questi due corpi si riuniscono di nuovo e danno luogo ad una corrente che va in direzione contraria; e difatto se si hanno due lamine di platino unite ai capi del galvanometro, e se una delle lamine si bagna in un liquido acido, l'altra in un alcali, e poi così bagnate s'immergono nell'acqua, v'ha una corrente diretta nello stesso verso di quella secondaria anzidetta.

La produzione delle correnti secondarie dà la spiegazione della *pila secondaria di Ritter*. Questa pila consiste in una cassetta rettangolare di legno verniciato, e divisa in tanti compartimenti da lamine di platino, d'argento, d'oro, rame ec.: si empiono di una soluzione salina o di un liquido qualunque tutti questi compartimenti, e si fa passare attraverso alla cassetta la corrente di una pila di un numero assai considerevole di elementi, immergendo i poli di questa negli estremi compartimenti di essa. Interrotto il passaggio della corrente, la pila secondaria dà per un certo tempo tutti gli effetti della pila riunendo con un arco metallico i suoi due estremi. La nuova corrente è diretta nel verso contrario di quella della pila, ed è generata dai prodotti della decomposizione della soluzione salina, raccolti sulle diverse facce delle lamine metalliche della pila secondaria.

Ma la corrente secondaria si produce anche nel caso in cui la corrente primaria non passa attraverso una soluzione sa-

lina, e semplicemente attraversa l'acqua acidulata con acido solforico. In questo caso non v'ha separazione di acido e di alcali a cui attribuirne la produzione; ma il Matteucci ne ha riscontrata la causa nell'accumulazione dell'ossigeno e dell'idrogeno prodotti dalla scomposizione dell'acqua, sulle due lamine di platino o di altro metallo mediante le quali si fa passare la corrente. E difatto si prendano due lamine di platino unite ai fili del galvanometro; se ne tenga immersa una nel gas idrogeno, l'altra nell'ossigeno, poi si estraggano sempre unite al galvanometro e si tuffino nell'acqua pura: tosto si vedranno gl'indizj di una corrente che nel liquido è diretta dall'idrogeno all'ossigeno. La corrente che si produce in questo caso ha la stessa origine di quella della pila a gas di Grove.

Applicazioni degli effetti chimici della corrente. — Galvanoplastica o elettro-tipia. Una delle più belle applicazioni dell'azione elettrochimica della corrente si è l'arte della galvanoplastica, vale a dire della preparazione di medaglie, bassirilievi ed anche statue, mediante varj metalli, ma specialmente il rame, precipitati lentamente dalle loro soluzioni mercè l'azione continuata della corrente elettrica. L'invenzione di quest'arte è dovuta a Jacobi di Pietroburgo e all'inglese Spencer. Questi fisici avendo osservato che facendo passare la corrente attraverso alle soluzioni metalliche, il metallo che in molte circostanze si separava al polo negativo della pila era in strati o in lamine resistenti, ebbero l'idea di farlo depositare su di un pezzo metallico formato dallo stampo di una medaglia in modo da ottenerne la perfetta riproduzione in rilievo. I loro tentativi furono coronati di successo, e a poco a poco l'arte della galvanoplastica si è perfezionata ed estesa ad un altissimo grado. Noi cercheremo adesso di esporne il processo con sufficiente ampiezza, da porre in grado un lettore intelligente di riuscire immediatamente nei suoi tentativi. Parleremo successivamente della preparazione degli stampi, di quella delle pile e degli apparecchi di elettrotipia. Sogliono usare diversi corpi per formare gli stampi; a tutti però è preferibile, specialmente per i piccoli, pezzi la lega di Darcet ottenuta con otto parti di bismuto, tre di stagno e cinque di piombo, la quale si fonde al di sotto della tem-

peratura dell'acqua bollente. Nel fondere insieme i metalli coi quali si compone, si cercherà d'impedirne l'ossidazione mantenendo su di essi un piccolo strato di grasso fuso. Si colerà la lega fusa in una cavità conveniente fatta in un piano di marmo, od anco in un'adattata scatola di carta. Si lascia alquanto raffreddare, e quando è prossima a solidificarsi vi si preme sopra la medaglia che dev'essere alquanto riscaldata. Lo stampo così ottenuto dovrà essere lavato con un po' d'alcool o d'etere solforico onde togliervi ogni traccia di materia grassa. Non rimane allora se non che fissare un filo di rame sul di dietro dello stampo, lo ché si fa facilmente scaldando un grosso filo di rame alla fiamma di una lampada ad alcool e indi calcandolo entro lo stampo stesso. La lega si fonde intorno al filo; poscia nel raffreddarsi si solidifica, e lo fissa convenientemente. Prima di essere adoperato lo stampo ha bisogno di esser ricoperto, insieme al filo metallico che lo sostiene, di uno strato di vernice o di cera in tutte quelle parti sulle quali si vuole che il rame non si precipiti, vale a dire sul di dietro e sull'orlo della medaglia.

Allorquando le medaglie o i bassi rilievi che vorranno eseguirsi saranno molto grandi, non si adopererà più la lega fusibile per la preparazione degli stampi, perchè malamente si riesce ad averli esatti operando nel modo che abbiamo indicato sopra una grande estensione, ed inoltre riescono troppo pesanti. Allora si fanno invece di cera, di stearina, o di un miscuglio di queste due sostanze fuse assieme a della piombaggine. Si unge da prima la superficie della medaglia, e dopo averla circondata da un orlo di carta, vi si versano fuse le suddette materie, e si lasciano passare molte ore onde siano ben solidificate prima di distaccare lo stampo.

Si fanno anche gli stampi col gesso, e specialmente pei grandi bassirilievi. Si prepara una pasta di gesso da formare assai fine e di acqua, e si stende con un pennello sul basso rilievo che prima dev'essere stato leggermente unto. Avendo bassi rilievi di gesso che vogliansi riprodurre in rame, si possono prima imbeverne di cera fusa, e quindi ottenerne lo stampo con altro gesso.

Onde rendere gli stampi di cera, di stearina o di gesso capaci di condurre la corrente, conviene rivestirli di una sostanza conduttrice, e a quest'uopo si può usare una foglia d'oro o meglio della piombaggine, la quale si distende minutamente polverizzata per mezzo di un pennello, finchè tutto lo stampo non ha preso la lucentezza stessa della piombaggine. Si fissa infine con un poco di cera un filo metallico sull'orlo dello stampo, e si sparge intorno ad esso della piombaggine onde esser certi che il filo e la superficie preparata dello stampo comunichino insieme. Così preparati gli stampi si applicheranno all'elettrodo negativo di una pila, la di cui corrente traversa una soluzione di solfato di rame. A questo punto converrà usare molte avvertenze, affinchè la corrente abbia quel giusto grado d'intensità che si richiede e la soluzione la dovuta densità. Se la corrente fosse troppo forte, il rame non si precipiterebbe aggregato, ma invece in polvere bruna e senza coesione; inoltre per la rapida decomposizione del solfato di rame, la soluzione sarebbe presto carica di acido solforico libero, ed il rame precipitato non tarderebbe ad essere ossidato. Parimente se la corrente fosse troppo debole, il rame si precipiterebbe con soverchia lentezza, ed allora sarebbe friabile, cristallizzato e di un rosso bruno. Se la soluzione non sarà satura, la corrente scomparirà al tempo stesso il sale e l'acqua, ed il gas idrogeno che si svolgerà al polo negativo impedirà l'aggregazione del rame. La pratica soltanto insegna qual sia l'intensità della corrente adattata per ottenere un buon risultato; ma fino dal principio dell'operazione potrà l'operatore giudicare se l'azione è troppo energica o troppo debole dal colore del rame precipitato e dalla rapidità della precipitazione, e quindi togliere o aggiungere qualche copia alla pila. Onde esser certi che la soluzione di rame resti sempre satura, si fa pescare nel liquido un sacchetto di tela in cui si tengono dei cristalli di solfato di rame. Onde poi la soluzione non divenga acida, l'elettrodo positivo dovrà esser formato da una lastra di rame, su cui portandosi l'ossigeno e l'acido, si viene a riprodurre costantemente una quantità di solfato eguale a quella che si decompone. A fine di assicurarsi che l'operazione procede bene, si estrae di tanto in

tanto lo stampo dal liquido, ciò che può farsi senza pericolo di turbare l'operazione, ed allorchè si vede che tutta la superficie ha un colore di rame eguale e lucido si è certi del risultato. Si continua l'esperienza fino che la lamina di rame precipitato non ha acquistato la debita grossezza. Quando si formano pezzi assai estesi è utile disporli orizzontalmente, mentre coi pezzi piccoli la posizione dell'elettrodo negativo è indifferente. Finita l'operazione si distacca la lamina di rame precipitato, introducendo delicatamente fra esso e lo stampo la lama di un coltello. Onde formare una medaglia a due faccie, si fanno prima queste separatamente, quindi si riuniscono assieme, saldandone convenientemente gli orli.

Passiamo adesso a descrivere gli apparecchi che debbono usarsi per il passaggio della corrente nella galvanoplastica. Volendo ottenere una piccola medaglia si potrà fare uso di un apparecchio immaginato da Daniell che serve al tempo stesso da pila o da bagno di decomposizione. Consiste in un recipiente *A* di vetro (*Fig. 66, Tav. II*) contenente una soluzione satura di solfato di rame, nella quale sta immerso un cilindro di vetro *B* chiuso inferiormente da un tappo di argilla o di membrana, e contenente una lamina di zinco *Z* immersa in una soluzione acida. Dalla lamina di zinco si parte un filo di rame che va ad unirsi al conio della medaglia *R* situato nella soluzione di solfato di rame del primo vaso, al di sotto del turacciolo del cilindro *B*. Se poi si vorranno ottenere più medaglie ad un tempo, ovvero qualche bassorilievo di considerevoli dimensioni, converrà che la pila sia separata dalla vasca di decomposizione in cui situansi gli stampi. Si darà la preferenza alle pile a forza costante, in special modo a quella di Daniell. Pochi elementi di questa pila possono servire anco per dei saggi di grandi dimensioni. Una sola coppia di Bunsen o due servono anche efficacemente all'uopo. La vasca si farà consistere in una cassetta di terra verniciata sulla quale si collocheranno attraverso due verghe di ottone *B* e *D* (*Fig. 67, Tav. II*) che si faranno comunicare l'una col polo negativo, l'altra col positivo della pila. Si sospendono alla prima le forme *m* già preparate, ed alla seconda una lastra *C* di rame, la cui superficie sia presso a poco eguale a quella

delle medaglie riunite. Se lo stampo sarà di superficie molto estesa, tornerà utile disporlo orizzontalmente. Allora converrà tenere parallelamente ad esso e alla distanza di 3 a 4 centimetri la lastra di rame che fa da polo positivo della pila; e sarà bene che lo stampo sia al disotto; lo che si ottiene posandolo sopra sostegni di vetro o di porcellana che sono nel fondo della vasca e sui quali si colloca colla sua faccia verniciata.

Per costruire delle statue colla galvanoplastica s'incontrano difficoltà assai maggiori che per i bassi rilievi e per le medaglie. Lo stampo dev'esser formato come se si volesse colarvi dentro il metallo; perciò la difficoltà maggiore proviene dal doversi precipitare il rame nell'interno di una cavità che comunica colla massa liquida per mezzo di uno o due fori assai stretti, per cui la corrente è assai indebolita. Oltre di che è quasi impossibile tenere la massa liquida interna satura egualmente di solfato di rame in tutti i punti, per cui accade spesso che il rame si precipita assai disegualmente sulla superficie dello stampo e non di rado avviene che si chiudono i fori. Per queste ragioni non si è riusciti fin qui a formare colla galvanoplastica delle statue di grandi dimensioni. Forse si riuscirà meglio in questo intento formando le due metà della statua separatamente come per le medaglie, e poscia saldandole insieme.

Incisione galvanica. In questo processo la corrente elettrica compie lo stesso ufficio dell'acqua forte nel metodo ordinario d'incisione. Si prende una lastra di rame sulla quale si stende a caldo uno strato della vernice da incidere formata d'asfalto e di cera o pece nera. Indi sopra questa superficie verniciata ed affumicata s'incide con una punta di acciaio il disegno. La lastra così preparata si fissa non più al polo negativo, ma al polo positivo della pila, nel qual modo l'ossigeno e l'acido che la corrente porta sui punti della lastra di rame lasciati scoperti nel fare il disegno, vi disciolgono il rame e vi formano la incisione. Bastano generalmente dieci minuti per compiere l'operazione. Onde l'incisione riesca perfetta conviene ritirare la lastra di tanto in tanto per ricuoprire con vernice i tratti più fini che formano le mezze tinte.

Si è usato ancora di adoprare la lamina di rame dorata coi processi galvanici che ben tosto descriveremo in vece che verniciata, tracciando il disegno sullo strato d'oro come si fa sulla vernice. In questo modo il disegno e l'incisione possono essere ottenuti di una maggior finezza.

Doratura e argentatura galvaniche. La precipitazione dell'oro, del platino e dell'argento sopra le superfici metalliche che formano il polo negativo della pila, in mezzo alle soluzioni d'oro, di platino e d'argento, è un fatto di elettrochimica identico a quello su cui si fonda l'arte della galvanoplastica. Questo fatto costituisce una delle più belle ed utili applicazioni della elettrochimica, essendosi per esso sostituito un metodo di dorare facile ed egualmente economico ad uno che riusciva nocivo alla salute degli operatori e non suscettibile di tanta varietà ed estensione.

L'arte dell'elettrodoratura fu indubitabilmente scoperta dal chimico Brugnatelli di Pavia, il quale nel 1803 scriveva al Van Mons di essere riuscito a dorare in modo perfetto due grandi medaglie di argento, facendole comunicare col polo negativo di una pila immerso nell'ammoniuro d'oro. Questo fatto cadde però in dimenticanza, e non è stato che 36 anni dopo il primo annunzio del Brugnatelli, che il De la Rive di Ginevra lo ha richiamato a vita fondando realmente su di esso l'arte dell'elettro-doratura.

Molti sono stati i metodi proposti per dorare coll'elettricità; ma tutti consistono nel tenere il metallo che si vuol dorare immerso in una soluzione d'oro e congiunto al polo negativo della pila. De la Rive teneva il pezzo che voleva dorare in una soluzione diluita di cloruro d'oro neutro, contenuta in una specie di sacchetto di membrana animale: stava immerso questo sacchetto in un liquido acido in cui era una lamina di zinco congiunta con un filo metallico al pezzo da dorare. In una parola l'apparecchio di De la Rive consisteva in una pila elementare simile a quella di Daniell, nella quale la soluzione d'oro era sostituita a quella del solfato di rame. De la Rive consigliava l'uso di una corrente debole, dello zinco puro e distillato e di una soluzione d'oro neutra e assai diluita. Questo metodo non tardò ad essere perfezionato: ed infatti

non si ottenevano mai per suo mezzo dorature forti e di quel colore che più piace. L'arte vera doveva formarsi, e questa fu principalmente creata da Ruolz e da Elkington che immaginarono di sostituire al cloruro semplice di oro le soluzioni di questo composto combinato al cloruro di potassio o alla potassa, e d'impiegare una pila comune a più elementi per decomporre la soluzione, tenuta in un recipiente distinto da quello della pila. Le migliori soluzioni d'oro, quelle mercè le quali si sono ottenuti i più perfetti risultati sono le seguenti. La Commissione dell'Accademia delle Scienze di Parigi operò con una soluzione formata di un grammo di cianuro d'oro disciolto in 100 grammi d'acqua contenente 10 grammi di cianuro di potassio in soluzione. Si fa bollire il miscuglio per mezz'ora, e lasciato raffreddare si filtra. Breant ha dorato perfettamente con una soluzione ottenuta trattando l'ossido idrato d'oro con una soluzione bollente di cianuro ferroso potassico e di potassa all'alcool. Le proporzioni sono le seguenti: ossido d'oro ottenuto da 8 parti di metallo; ferrocianuro potassico 96, potassa 24, acqua 960. Il Professor Selmi ha pure ottenuto ottimi risultati componendo il liquido con una parte di cloruro di oro a cui si aggiunge prima tanta ammoniaca da rendere alcalina la soluzione, e poscia 2 parti di carbonato di soda, 2 di ferrocianuro di potassio e 100 di acqua. Non è anche ben nota la maniera con cui procede la chimica decomposizione di queste differenti soluzioni d'oro; ma è certo che la presenza dell'alcali nelle medesime, toglie qualunque possibilità d'ossidazione al metallo che comunica col polo negativo della pila; e ciò, tanto prima del passaggio della corrente, quanto durante il medesimo.

Diciamo adesso in che debbono consistere le varie pratiche da usarsi per ottenere una doratura forte, di lunga durata, e di quel grado di colore e di lucentezza che piacciono nel commercio. La più importante delle operazioni che deve subire il pezzo d'argento o di rame che si vuol dorare è quella di renderne perfettamente pulita la superficie metallica, senza di che l'adesione perfetta de' due metalli non può ottenersi. Si suol fare quest'operazione, ora a caldo, immergendo il pezzo per pochi istanti nell'acido nitrico o in solu-

zioni diluite d'acido solforico, ora a freddo passando della polvere di pomice sulla superficie da dorare. Si può a questi metodi supplire usando un bagno di protonitrato di mercurio. Il pezzo che si vuol dorare si tiene immerso in una soluzione assai diluita di questo sale sino a che si faccia bianco per amalgamazione. Si lava allora con molta acqua, e si distende uniformemente il mercurio passandovi sopra con una pelle. Secondo lo stato diverso dell'amalgama superficiale può ottenersi ora la doratura *lucida e brillante*, ora quella *opaca*, che dicesi *mat* di Parigi. È provato ormai che le differenze nella tinta o grado della doratura, non dipendono già, come fu creduto da primo, dalla presenza di una certa quantità di rame misto all'oro, ma da uno stato diverso molecolare dell'oro depositato, e più ancora dallo stato della superficie su cui la doratura si è operata. Un velo d'oro così sottile come quello che forma la doratura lascia alla superficie quelle qualità fisiche che la medesima già possedeva, il che ha fatto giustamente dire a Becquerel che *tale è la doratura, quale si è la superficie dell'oggetto da dorarsi*. Adunque allorquando si vorrà ottenere la doratura opaca detta *mat*, converrà che la superficie dell'oggetto sia alquanto rugosa, e ciò si otterrà immergendo precedentemente il pezzo da dorarsi amalgamato o no, in una soluzione acida più forte e ad una temperatura più elevata di quando la doratura dev'essere lucida e brillante.

Le stesse regole e le stesse disposizioni negli apparecchi che abbiamo descritto per la galvanoplastica, possono ripetersi per la galvanodoratura. È essenziale che il bagno per dorare sia alla temperatura di $+ 20^{\circ}$ a $+ 30^{\circ}$ C, imperocchè ad una più bassa il pezzo non tarda ad annerire, e la doratura riesce rossa. Una lamina d'oro deve formare quella parte del polo positivo che sta immersa nel bagno, ed è utilissimo che essa abbia presso a poco la stessa estensione del pezzo da dorare. Allorquando il pezzo sembra dorato a sufficienza si toglie e si lava con molt'acqua. Avendo pesato il pezzo prima della operazione e pesandolo dopo si determina la quantità di oro che vi si è depositata.

Oltre l'argento ed il rame si può dorare anche l'ottone, il bronzo ed il ferro. Per dorare quest'ultimo metallo si usa

di ricoprirlo prima di uno strato di rame, tenendolo immerso in una soluzione di solfato rameico.

Quanto all'inargentatura e platinatura per mezzo della corrente, diremo che il liquido o bagno per inargentare si forma sciogliendo un grammo di cianuro d'argento e dieci grammi di cianuro di potassio in cento grammi di acqua, e quello per platinare si fa consistere in un doppio cloruro di platino e di potassio sciolto in una soluzione di potassa caustica.

Infine si usa talvolta nelle arti di ricuoprire il ferro con uno strato di zinco, e si ottiene in questa guisa il così detto *ferro galvanizzato*. Il bagno che a questo fine si adopra ottiensi sciogliendo l'ossido di zinco in una soluzione di potassa. In tutte queste operazioni fu trovato vantaggioso impiegare una pila a varj elementi, piuttosto che una sola coppia.

Elettro-metallurgia. Fino ad oggi non si sono fatti che dei tentativi di elettro-metallurgia. L'arte di estrarre i metalli dai loro minerali per mezzo della corrente non è per anco stabilita. Si debbono a Becquerel i primi saggi relativi a quest'arte, i quali furono da lui rivolti specialmente all'estrazione del rame. Si trasformano primieramente i minerali di rame in solfato mediante gli ordinarij processi chimici, quindi si opera la decomposizione della soluzione del solfato di rame mediante la corrente. Sembra che questo processo di riduzione riesca assai più costoso di quello fin qui adoprato mediante il carbone.

Nelle fonderie di ferro dell'Inghilterra si è tentato di ottenere colla corrente elettrica la purificazione del ferro dal zolfo, fosforo, arsenico ec., i quali anche in piccolissime quantità alterano grandemente le qualità fisiche del ferro, e noccono al suo impiego nelle arti. Si era pensato che facendo passare una corrente elettrica nella ghisa fusa, questi corpi verrebbero a separarsi al polo positivo; ma sembra che la maggior conducibilità dei carburi di ferro e la piccolissima quantità dei composti suddetti che vogliono decomorsi sieno di grande ostacolo all'effettuazione dell'indicato processo.

Metallo-cromia di Nobili. Nobili diede il nome di metallo-cromia all'arte da lui ritrovata di colorare variamente i metalli per mezzo della corrente elettrica. Ecco come si riesce in questo intento. Nel fondo di una cassula di vetro o di

porcellana si mette una lamina metallica, che può essere di platino, di acciaio, d'argento, d'ottone ec. alla quale è saldato un lungo filo di rame. Si ricopre questa lamina di uno strato alto poche linee di una soluzione di acetato di piombo, e s'immerge nel liquido, fino alla distanza di circa mezza linea dalla lamina, un filo sottile di platino. Se allora si stabilisce la comunicazione della lamina col polo positivo, e del filo di platino col polo negativo di una pila di 12 a 15 elementi alla Wollaston di piccola superficie, si vedranno dopo pochi secondi apparire sulla lamina diverse iridi concentriche di colori vivissimi e brillanti come quelli della coda del pavone. Queste iridi nascono le une dentro le altre quasi incalzandosi a modo delle onde; e i loro colori sono tanto più vivaci quanto più è lucente e levigata la lamina che si è adoperata. Quanti sono i fili negativi adoperati, altrettanti sono i sistemi circolari di iridi che si producono sulla lamina, e tutti hanno per centro costante il punto che corrisponde verticalmente al filo. Se i fili negativi sono prossimi, i cerchi non si sormontano, si schiacciano invece nelle parti interne, e sembrano quasi fuggirsi. Quando la lamina comunica col polo negativo ed il filo col polo positivo, mancano i cerchi colorati colla soluzione di acetato di piombo, mentre si ottengono usando una soluzione di acetato di rame, ed in special modo sulle lamine di argento. I cerchi concentrici sono allora così distribuiti: nel mezzo un cerchio nero, poi uno giallo; poi un terzo nero, indi uno di rame puro, e così di seguito. Affine di avere le due apparenze o iridi sopra una stessa lamina si adopera una soluzione composta di acetato di rame e di acetato di piombo, e si colloca la lamina metallica su cui vogliono produrre gli anelli colorati nel fondo del recipiente che contiene la suddetta soluzione. Due fili di platino terminati in punta sono immersi nel liquido in modo da essere assai prossimi colla loro punta alla lastra. La disposizione la più comoda per queste esperienze è quella immaginata dal Nobili stesso, consistente in due pinzette d'ottone fissate a due bracci metallici, i quali possono alzarsi ed abbassarsi con apposito meccanismo. I fili di platino sono fissati a queste pinzette, e sono tutti ricoperti di vernice meno che sulla punta

(Fig. 68, Tav. II). La corrente elettrica che circola nel liquido da una punta all'altra passa in parte anche per la lamina metallica, per lo che si generano due poli secondarj sui punti della lamina più prossimi alle punte di platino. È chiaro che il polo secondario della lastra che è sotto la punta comunicante col polo positivo è negativo, e viceversa per l'altro. Volendo una sola serie di anelli colorati basta di toccare direttamente la lamina con uno dei fili di platino. In ogni caso si usa una corrente assai debole per ottenere dei colori ben distinti. La cagione di siffatti colori è riposta nei sottilissimi veli di ossido o di metallo ripristinato che si depositano sulle lamine metalliche per l'azion chimica della corrente sul liquido. Nobili era giunto a distribuire questi colori in modo così regolare da poterne comporre dei disegni, ma disgraziatamente tali colori sono di una grande instabilità, e non resistono che poco tempo allorchè sono esposti all'atmosfera. Con più punte, variamente distribuite si potranno avere più iridi disposte in quell'ordine che si vorrà. Così, per esempio, volendo un rosone ad occhio di pavone con un bell'anello colorato al centro, basta fare comunicare col polo negativo una serie di punte distribuite sulla periferia di un circolo, come in una ruota dentata (Fig. 69, Tav. II): con una punta sola si fa poscia l'anello del centro. Becquerel è riuscito recentemente con altri liquidi, modificando il metodo del Nobili, ad avere colori, meno belli forse, ma più durevoli, perchè procedenti da fissazione di ossidi che non si alterano all'aria.

5.º *Effetti fisiologici.* La corrente elettrica esercita il suo potere sulla natura organica e dà luogo agli effetti fisiologici. In quanto alla sua azione sulle piante poco ci è noto. Si era creduto da alcuni fisici che la corrente favorisse la germinazione dei semi situati al polo negativo della pila; ma questo fenomeno solo indirettamente deriva dall'elettricità, perchè altro non è se non l'effetto della decomposizione chimica dell'acqua in cui sono tenuti immersi i detti semi. Quest'acqua tiene sempre disciolti dei sali alcalini e terrosi, sicchè la corrente ne trasporta l'acido al polo positivo e gli alcali e le terre al polo negativo. Ora egli è noto che mentre gli acidi noccono alla germinazione dei semi, gli alcali e le terre invece la favoriscono.

La corrente agisce sulla *mimosa pudica* e sulla *sensitiva*, alla maniera stessa della elettricità statica e di qualunque altro stimolo. Fatta passare attraverso un fusto di *chara*, si vede infievolire e quindi estinguere il naturale movimento circolatorio dei globetti verdi in esso contenuti, che si compie tra nodo e nodo del fusto medesimo.

Gli effetti della corrente sugli animali sono molto più numerosi e svariati, e ci sono noti assai meglio. Essi, come abbiamo veduto, furono i primi che venissero osservati, poichè diedero luogo alla scoperta dell'elettricità dinamica fatta dal Galvani, e consistono in scosse e contrazioni muscolari assai energiche, quando le pile sono potenti. Se si prendono colle due mani gli elettrodi di una forte pila, la scossa violenta che si risente è paragonabile a quella della bottiglia di Leida, specialmente se le mani sono bagnate di acqua acidula o salata, il che serve ad aumentare la conducibilità. La commozione è tanto più intensa quanto maggiore è il numero delle coppie. Con una pila di Bunsen di 50 a 60 coppie, in cui il cilindro di zinco abbia 22 centimetri d'altezza e 15 di diametro, la scossa è molto forte; con 150 a 200 di queste coppie è insopportabile e pericolosa. Questa scossa si estende nel braccio meno di quella della bottiglia di Leida, e trasmessa in una catena di persone è sentita generalmente soltanto da quelle che sono più vicine ai poli.

La pila eccita violente contrazioni, non solo negli animali vivi ma ben anco nei cadaveri di animali uccisi da breve tempo. Si sottopose all'azione di una forte corrente il cadavere di un giustiziato, e le contrazioni che si eccitarono nei muscoli della sua faccia furono spaventevoli. Anche le membra del tronco erano agitate da convulsioni e da movimenti improvvisi, ed i muscoli del torace contraevansi in modo da imitare i moti respiratorj. Sugli uomini e sugli altri animali caduti da poco tempo in asfissia, la corrente è giunta a ristabilire la respirazione e la circolazione che erano rimaste per qualche tempo sospese. L'animale perito di morte naturale non è capace di contrarsi al passaggio della corrente. Lo stesso deve dirsi dell'animale ucciso dalla scarica elettrica o da certi particolari veleni, come l'acido idrocianico, l'idro-

geno solforato ec. Ma l'azione della corrente elettrica sul sistema nervoso degli animali è stata molto dettagliatamente studiata dai fisici, i quali sono giunti a dei risultamenti di assai importanza, che hanno servito di norma nell'applicazione terapeutica della medesima. Marianini, Nobili, Matteucci sono quelli che più particolarmente si sono occupati di questo soggetto. Esporre minutamente le loro osservazioni sarebbe oltrepassare i limiti di questo libro; perciò basterà che ne indichiamo le principali.

Se ad un animale vivo, per. es. ad un coniglio, legato colle sue quattro gambe su di una tavola, si scopre il nervo sciatico in ambo le cosce, e si isola dalle parti circostanti per mezzo di una striscia di taffetà verniciato, e quindi si applicano sopra uno di questi nervi alla distanza di due a tre centimetri l'uno dall'altro i reofori di una pila, si giunge a far passare la corrente pel nervo stesso. Ora questa corrente può esser mandata nel nervo in due direzioni opposte, vale a dire dal tronco verso i rami o dai rami verso il tronco. Nel primo caso la corrente dicesi *diretta*, nel secondo *inversa*.

Qualunque sia la direzione che si dà alla corrente, si osserva che al primo chiudere del circuito l'animale contrae i muscoli della coscia e dà indizi di sensazione dolorosa gridando, incurvando il dorso, e agitando le orecchie. Dopo un breve intervallo l'animale si ripone in quiete, e pare che non avverta nuova molestia; ma interrompendo il circuito, i medesimi fenomeni si riproducono. Le contrazioni sono ordinariamente maggiori al principio della corrente, diretta piuttosto che della inversa, mentre la sensazione dolorosa è più forte al principio di quest'ultima. Ripetendo molte volte di seguito queste esperienze sullo stesso animale, questo dopo un certo tempo non darà più alcun indizio del passaggio della corrente, e ciò avverrà tanto più presto quanto più intensa sarà la corrente. Ma lasciando l'animale per qualche tempo in riposo, o accrescendo la forza della corrente, i fenomeni si riproducono.

La corrente continua, quantunque non sia avvertita dall'animale, pure dopo un certo tempo toglie alle membra la facoltà di contrarsi; anzi pare che il prolungato passaggio della cor-

rente diretta generi sull'animale vivo paralisi di moto, e quello dell'inversa paralisi di senso.

Ma l'eccitabilità dei nervi resta molto più indebolita pel passaggio prolungato di una corrente interrotta a brevi intervalli di quello che pel prolungato passaggio di una corrente continua. Si può far passare interrottamente una corrente elettrica attraverso il corpo di una rana, distendendo questo animale, nel modo che abbiamo sopra indicato pel coniglio, sopra una tavoletta, per mezzo di piccoli chiodi. Si lega ad uno di questi chiodi uno dei reofori della pila, e si tocca successivamente un altro chiodo coll'altro reoforo. Il circuito viene così interrotto a brevi intervalli, e l'animale distende le sue membra, e sembra preso da convulsioni tetaniche. Se si paragona l'eccitabilità che rimane a due rane, sottoposte ambedue per lo stesso tempo all'azione di una pila di egual forza, ma l'una con una corrente continua e l'altra con una corrente interrotta, si trova sempre che farà d'uopo dipoi di un maggior numero di coppie per fare contrarre la rana che ha subito l'azione della corrente interrotta. Il grande esaurimento della eccitabilità dei nervi per il passaggio della corrente rinnovata a cortissimi intervalli di tempo è più particolarmente dimostrato dalle esperienze di Masson. Questo fisico immaginò un apparecchio, per mezzo del quale potere eccitare in un animale un gran numero di scosse elettriche in un tempo brevissimo. Consiste in una ruota dentata metallica, fissa ad un asse parimente metallico e capace di girare mediante un manubrio. L'asse della ruota è in comunicazione con uno dei poli della pila, e l'altro polo è in contatto con un filo, il quale dopo essersi avvolto a spirale sopra un cilindro di ferro dolce, comunica con una lastra metallica fissa, la quale viene urtata successivamente dai denti della ruota. Quando questa gira, si chiude il circuito a ciascun contatto della lastra metallica con un dente, e s'interrompe nell'intervallo che divide due contatti successivi. Quando si toccano colle mani bagnate due cilindri metallici comunicanti colle due estremità del conduttore poste ai lati del punto in cui si apre e si chiude il circuito, si prova una successione di scosse molto forti; e se la velocità di rotazione è considerevole, queste scosse producono

nelle braccia una contrazione dolorosa e così intensa che i muscoli non possono più obbedire alla volontà, e lo sperimentatore non può lasciare i conduttori che ha nelle mani, ed è anzi costretto a stringerli con più forza. Se poi si dà alla ruota una velocità troppo grande, in modo che le scosse siano di circa 300 a minuto secondo, allora il fenomeno delle contrazioni sparisce, giacchè le interruzioni non sono più distinte, e la corrente assume l'aspetto di corrente continua.

Quando parleremo dell'induzione elettromagnetica descriveremo altri apparecchi destinati allo stesso oggetto di quello del Masson, ed anco più potenti. Con questi si giunge ad uccidere un coniglio o un gatto nello spazio di qualche secondo con una pila di pochi elementi.

Quando si fanno passare le correnti elettriche sugli animali uccisi, mancando in questi i segni del dolore, si hanno le sole contrazioni. Si può operare sopra molti animali, ma bastano le rane preparate al modo di Galvani, vale a dire le sole gambe posteriori private della pelle ed attaccate alla spina dorsale, sui lati della quale si sono diligentemente denudati i nervi lombari che decorrono parallelamente a guisa di due cordoncini bianchi (*Tab. III, Fig. 70*). Se la rana così preparata è recente, si scuote tanto colla corrente diretta come colla inversa, tanto all'atto che si chiude quanto a quello che s'interrompe il circuito. A misura, però che l'animale va perdendo della sua vivacità, le contrazioni acquistano dei caratteri particolari, e le differenze dipendono dalla direzione della corrente. Le contrazioni si manifestano forti nel compiere il circuito, e deboli nell'interromperlo quando la corrente è diretta; ed appaiono nell'interrompere e mancano nel chiudere il circuito quando è inversa. Indebolendosi ancor più la vitalità della rana, le contrazioni compariscono soltanto al compiere il circuito colla corrente diretta, e nell'interromperlo quando è inversa. Infine quando ogni vitalità si è spenta, la rana non più si contrae in qualunque modo si operi. Anche negli animali uccisi si osserva che non v'ha contrazione durante tutto il tempo che transita la corrente.

Volta poi aveva osservato che una rana, dopo lasciata per circa mezz'ora nel circuito di una pila, non si scuote più

sotto l'azione della medesima corrente, tanto nel chiudere che nell'interrompere il circuito; mentre rinascono in essa le commozioni dirigendo la corrente in contrario verso. Questo fatto rimarchevole è detto delle *alternative voltiane*.

Usi medici della corrente. Si ammette generalmente dai fisici che in certi casi di *paralisi* i nervi siano alterati in un modo analogo a quello che sarebbe in essi accaduto pel passaggio continuo della corrente elettrica. Abbiamo visto che per restituire ad un nervo l'eccitabilità al passaggio della corrente, dopochè l'ha perduta pel prolungato transito della medesima, bisogna servirsi d'una corrente diretta per verso contrario a quella. Parimente per far cessare la *paralisi*, si dovrà far passare una corrente in direzione contraria a quella che avrebbe potuto produrla. Laonde per una *paralisi* di movimento converrà applicare la corrente inversa, mentre per una *paralisi* di sensibilità si dovrà usare la diretta. Ma se la *paralisi* è completa, non v'ha più ragione alcuna per servirsi piuttosto dell'una che dell'altra corrente. È stato pure osservato che la corrente interrotta con frequenza, mentre uccide gli animali che vi si assoggettano per lungo tempo, aumenta invece l'eccitabilità nervosa quando l'animale ne subisce solo per breve tempo l'azione; quindi nella cura delle *paralisi*, alla corrente continua è da preferirsi quella interrotta.

La corrente è stata applicata con vantaggio anche nelle *neuralgie*, servendosi dell'agopuntura per dirigere la corrente secondo le diramazioni dei nervi che sono sede del dolore.

Il Matteucci l'ha proposta anche nella cura del *tetano*. Poichè il passaggio della corrente interrotta nei nervi di un animale induce da prima le contrazioni tetaniche, mentre il passaggio della corrente continua produce bentosto la *paralisi*, era probabile che l'uso di una corrente continua nel tetano avrebbe distrutto questo stato, inducendo invece la *paralisi*. Questa applicazione fu difatto tentata nel caso di un tetano traumatico; e quantunque non si riuscisse a produrre la guarigione, pure gli alleviamenti al male, durante il passaggio della corrente, furono tali da far concepire la speranza di migliori risultati nei casi di tetano non traumatico.

Infine si è applicata la corrente, e ordinariamente con ottimo successo, nella cura degli *aneurismi*. In questo caso si

ha per iscopo di produrre la coagulazione dell'albumina del sangue, in modo da formare nel sacco aneurismatico un grosso grumo che faccia le veci della legatura dell'arteria. Per riuscire nell'intento bisogna che il passaggio della corrente sia rinnovato molte volte di seguito. I reofori della pila debbono terminare in aghi di platino che introduconsi nell'arteria dilatata. In Toscana il professor Burci e l'illustre professor Regnoli sono riusciti felicemente in queste cure. Ogni qualvolta si applichi la corrente alla cura delle malattie rammentate, si avverta di cominciare con correnti molto deboli, perocchè vi sono degli individui che in principio appena tollerano le più piccole scosse. Fa d'uopo inoltre non prolungare di troppo il passaggio della corrente; e quando si faccia uso della corrente interrotta, dopo 20 a 30 scosse si lasci il malato per qualche tempo in riposo.

Quanto agli apparecchi da adoprarsi, la pila a corona di tazze è molto comoda, prestandosi facilmente alla diminuzione o all'aumento della intensità della corrente col togliere o aggiungere qualche coppia. Volendo usare la corrente interrotta si potrà applicare la ruota di Masson, ovvero alcuno degli apparecchi d'induzione che a suo luogo descriveremo. Sembra anzi che in molte circostanze le correnti di questi ultimi apparecchi, a motivo della minore loro azione chimica disorganizzatrice, siano da preferirsi a quelle della pila.

4.º *Azione delle correnti tra loro, ossia fenomeni elettrodinamici delle correnti.*

La scoperta dell'azione scambievole delle correnti devesi al celebre Ampère. Noi indicheremo successivamente le leggi di quest'azione nelle correnti parallele, nelle angolari, e negli altri casi di maggiore importanza.

Leggi delle correnti parallele.

1.º *Due correnti parallele e dirette nello stesso verso si attraggono.*

2.º *Due correnti parallele e dirette per versi contrarj si respingono.*

Per dimostrare queste leggi si fa uso di un apparecchio in cui il circuito è diviso in due parti, l'una fissa e l'altra mo-

bile. La parte fissa si compone di due colonne di ottone collocate verticalmente sopra una piccola tavola di legno. (*Tav. III, Fig. 75*). Si fa comunicare l'elettrodo positivo di una pila di quattro o cinque coppie di Bunsen col piede della colonna che è alla sinistra della figura: la corrente ascende in questa colonna, portasi ad un filo *A*, indi ad una vaschetta *B* che contiene del mercurio. Qui incomincia la parte mobile del circuito, che è composta di un filo di rame, una estremità del quale posa per mezzo di un perno sulla vaschetta *B*, e l'altra s'immerge in un'altra vaschetta *C*, dalla quale la corrente ascende nella colonna destra, comunicante alla sua sommità col polo negativo della pila. Dalla disposizione delle frecce si vede che la corrente va in direzione contraria nelle colonne e nel circuito mobile. Si comincia l'esperienza, disponendo prima del passaggio della corrente, il conduttore mobile nel piano degli assi delle colonne. Non appena la corrente comincia a circolare, si vede che il conduttore mobile viene respinto da quello fisso, e se ne allontana ruotando sul suo perno *B*, il che dimostra la seconda legge. Per dimostrare la prima legge si toglie il circuito mobile della figura 75, e gli si sostituisce quello rappresentato nella figura 76. In questo caso si vede parimente dalla direzione delle frecce, che la corrente si dirige nello stesso verso, tanto nella parte fissa che nella mobile dell'apparecchio, e si riconosce che v'è attrazione, perchè il circuito mobile torna sempre nel piano degli assi delle colonne non appena ne sia rimosso.

Leggi delle correnti angolari.

1.^o *Due correnti rettilinee, le cui direzioni facciano un angolo tra loro, si attraggono quando si avvicinano ambedue al vertice, o quando ambedue se ne allontanano.* 2.^o *Se una delle correnti va verso il vertice dell'angolo e l'altra se ne allontana, si respingono.*

Queste due leggi possono riassumersi in una legge unica, che è la seguente: *Due correnti che si tagliano, che fanno un certo angolo tra loro, tendono sempre a divenire parallele, in modo da ridursi ad essere dirette nello stesso verso.*

Due correnti che s'incrociano, possono trovarsi sullo stesso piano, e quindi incontrarsi colle loro direzioni, o possono

trovarsi in piani diversi in modo da non potersi incontrare: nel primo caso il punto d'incontro o *d'intersezione* è il punto in cui si tagliano; nel secondo convien prendere per questo punto, o vertice dell'angolo, la perpendicolare comune. Lo stesso conduttore mobile della figura 75 può servire a determinare quest'azione: basterà fare agire sopra il suo lato orizzontale inferiore una corrente fissa di una conveniente intensità; e onde renderne l'azione più forte si adopera per conduttore fisso un filo ricoperto di seta e ripiegato più volte sopra sè stesso a rettangolo; il quale apparecchio dicesi perciò moltiplicatore. Si può anche verificare la stessa azione mediante un apposito apparato, rappresentato dalle figure del numero 77 Tav. III. Consiste in un disco di legno, sul quale sono incavati due canaletti semicircolari separati in a e b da due lamine isolatrici. Nel centro è fissato un pernio o , sul quale riposa per mezzo di un cappelletto un ago di rame mobilissimo $c d$, i cui estremi di ferro, incurvati in basso, pescano nel mercurio dei due canali: al di sotto di quest'ago ve ne è un altro $e f$, che si fa muovere colla mano e che pesca esso pure colle sue estremità nei due canali. La corrente che entra in x , passa per i due aghi ed esce per l'altra cavità y . Mettendo gli aghi nella posizione indicata dalla figura, essi respingonsi, e si ha attrazione ponendoli in modo che l'angolo $c o f$ sia minore di un angolo retto.

Può dedursi da questa legge dell'azione delle correnti angolari, che in un conduttore piegato ad angolo (Tav. III, Fig. 78) le due parti $a b$, $b c$, una delle quali si accosta e l'altra si allontana dall'angolo, si respingono tra di loro, e perciò tende il conduttore a divenire rettilineo. Questo stesso principio condusse Ampère ad ammettere, che le parti contigue di una stessa corrente rettilinea si respingono; alla quale conclusione egli giunse mediante la teoria matematica dei fenomeni di cui discorriamo. L'esperienza non ha anche sufficientemente comprovato quest'ultimo principio.

Leggi dell'azione delle correnti finite e indefinite fra loro. Allorquando si hanno delle correnti rettilinee che s'incrociano, si chiamano correnti *finite* quelle che non oltrepassano la intersezione, mentre diconsi *indefinite* quelle che la oltre-

passano. Così le correnti ab , e cd , pq , e qr , (*Tav. III, Fig. 79*) sono finite, mentre le ab , cd , sono entrambe indefinite.

L'esperienza dimostra; che *una corrente finita che si accosta ad una corrente indefinita tende a muoversi in direzione contraria di quest'ultima, mentre se la corrente finita si allontana dalla indefinita tende invece a muoversi nello stesso verso della medesima*. Sia MN la corrente indefinita fissa (*Tav. III, Fig. 80*) ed OA la finita mobile intorno al centro O , e diretta primieramente dal centro alla circonferenza. Agevole sarà, per ognuno che rammenti le leggi di sopra esposte, intendere come tra questa corrente e l'altra MN ci debba essere attrazione, perchè sono dirette nello stesso verso: la corrente OA adunque attratta dalla MN prenderà la posizione OB ; ma allora nell'angolo OPM vi sarà attrazione e nell'altro OPN repulsione, e però la corrente seguirà il suo cammino e verrà p. es. in OC , in cui verificandosi le medesime condizioni dovrà proseguire innanzi, e così sempre seguitando ad applicare le note leggi, s'intenderà che la corrente terminata dovrà ruotare continuamente intorno al centro O . Se poi la corrente finita andasse dalla circonferenza al centro, essa ruoterebbe per verso contrario della precedente; e la rotazione cangerà anche direzione se muterà quella della corrente fissa.

Se la corrente indefinita sarà circolare, e la corrente finita sarà mobile nel centro di essa, s'intenderà pure facilmente cogli stessi principj che la corrente mobile prenderà un continuo movimento di rotazione che sarà diretto sempre pel verso contrario della corrente circolare quando la direzione della prima è dal centro alla circonferenza, e sarà nello stesso verso della corrente circolare quando la corrente mobile va dalla circonferenza al centro.

Onde verificare queste conseguenze delle leggi generali a cui obbediscono le azioni delle correnti elettriche, si adopera un vaso circolare $ACDB$ di rame (*Tav. III, Fig. 81*), e un conduttore abc mobile, che si sospende entro una piccola capsula s piena di mercurio e posta nel centro del vaso. Questa capsula è sostenuta da un conduttore y x che traversa il vaso, essendone separato da un corpo isolante. Si versa nel vaso circolare tanta acqua acidula che vi possa pescare il

leggero anello metallico *a b c*, che fa parte del conduttore mobile. Infine si circonda il vaso di una spirale fatta con una lamina di rame coperta di seta, più volte girata sopra sè stessa, come è indicato dalla figura 82. Si fa entrare la corrente per un capo di questa spirale, ed il suo effetto è moltiplicato dal numero grande dei giri della lamina. Dopo essersi più volte aggirata intorno al vaso, passa al di sotto di questo nel piede della colonna conduttrice *y x*, e salendo per essa fino al conduttore mobile giunge all'anello *a b c*, e da questo all'acqua acidulata ed alle pareti del vaso colle quali comunica il polo negativo della pila. L'azione si stabilisce fra la corrente circolare e le porzioni orizzontali e verticali del conduttore mobile, e la rotazione di questo si effettua nella direzione voluta dai principj sopra esposti. Invertendo la direzione della corrente, s'inverte anche il movimento di rotazione del conduttore mobile.

Per verificare la rotazione delle correnti circolari prodotta dalle correnti rettilinee, nella vaschetta dell'apparecchio ora descritto, si sospende il conduttore rappresentato dalla figura 83, fatto di un filo di rame piegato a spirale piana, e di cui le spire sono mantenute in uno stesso piano da tre piccole stecche di balena. La estremità interna dell'ultima spira si ripiega verticalmente e serve a sospendere la spirale che si fa tuffare nell'acqua acidulata. La corrente segue i contorni o giri della spirale, ne esce da tutti i punti, e a guisa di raggi traversa l'acqua acidula onde giungere sulle pareti del vaso. Cotali correnti irraggianti sono quelle che agiscono sulla corrente che percorre la spirale, e perciò questa si muove nel verso della propria corrente. Lo stesso accade se si fa andare la corrente in una direzione opposta, vale a dire che dalle pareti del vaso traversi l'acido ed entri nella spirale. La corrente ha in questo caso cambiato tanto nel liquido che nella spirale, e il suo movimento è come per l'avanti. Onde questo movimento s'inverte convien prendere una spirale ripiegata nel verso contrario della prima, come quella che è rappresentata dalla figura 84.

Leggi dei sistemi di correnti circolari. Ampère ha chiamato *selenoide* un sistema di correnti circolari eguali e parallele e

i di cui centri si trovano sopra una linea qualunque. Per realizzare l'idea del selenoide e per determinarne l'azione si costruiscono dei piccoli apparecchi chiamati *cilindrici elettrodinamici*, i quali consistono in *eliche* formate sopra un cilindro qualunque con un filo di rame coperto di seta. Dopo aver fatto fare a questo filo un certo numero di giri, si fa ritornare il filo addietro per l'asse stesso dell'elica (*Tav. III, Fig. 85*) In questo apparecchio, quando il circuito è percorso da una corrente, le correnti parziali di ogni spira possono considerarsi come le risultanti di una corrente circolare normale all'asse e di una piccola corrente rettilinea di cui la lunghezza è eguale al passo dell'elica. Facendo retrocedere il filo nell'asse dell'elica, onde la corrente vi cammini in una direzione contraria di quella che hanno le piccole correnti rettilinee supposte, se ne distrugge l'effetto, e l'azione di un conduttore così preparato si riduce a quella di tante correnti circolari, che sono le proiezioni di ogni spira sul piano perpendicolare all'asse dell'elica.

Per determinare coll'esperienza l'azione di questi cilindri elettrodinamici allorchè sono percorsi dalla corrente, si costruiscono in modo da poterli sospendere e render mobili (*Tav. III, Fig. 86*) attorno ad un piano verticale. Allora verificansi le seguenti leggi.

I selenoidi tendono sempre a disporsi coll'asse perpendicolarmente alle correnti indefinite che vi si avvicinano in una posizione qualunque, in guisa che la direzione delle correnti sia la stessa nelle parti più prossime del selenoide e della corrente indefinita. Anche questo effetto è una conseguenza delle leggi generali sopra esposte.

Due selenoidi si attraggono colle loro estremità per un verso, mentre respingonsi pel verso opposto: v' ha attrazione nelle parti in cui le correnti sono dirette egualmente, e repulsione in quelle in cui hanno una differente direzione. Questo fatto verificasi facilmente, tenendo in mano uno dei cilindri elettrodinamici e sospendendo l'altro in guisa che possa liberamente ruotare intorno ai punti di sospensione. Accostando le due estremità del primo cilindro ad una dell'altro si ha attrazione con una, repulsione coll'altra: avvicinandole all'altra estremità, quella

che prima attraeva ora respinge e viceversa. Vedremo tra poco, che vi sono dei corpi in natura, le calamite, che agiscono tra loro esattamente come i selenoidi.

5.° *Fenomeni d'induzione elettrodinamica.*

Le correnti elettriche non solo operano a distanza sopra altre correnti, ossia sui conduttori per cui queste scorrono, ma operano anche sopra i conduttori allo stato naturale inducendo nei medesimi nuove correnti. Il fatto fondamentale di questa induzione fu scoperto da Faraday, ed è il seguente. Si abbiano due spirali piane eguali (*Tav. III, Fig. 87*), fatte piegando a spirale sopra una superficie piana un filo di rame coperto di seta, e fissatovi in un modo qualunque, ovvero avvolgendo nella stessa guisa una lamina metallica coperta di seta, e larga quanto un nastro ordinario. Si unisca una di queste spirali coi suoi capi ai fili di un galvanometro, e i capi dell'altra si congiungano ai poli di una pila di un certo numero di elementi a superficie piuttosto estesa. Si tengano prossime le due spirali, e separate soltanto da un foglio di carta o da una lastra di vetro affinchè non nasca dubbio che la corrente della pila fatta passare in una delle spirali passi nell'altra. Così disposte le cose, si chiuda il circuito nella spirale che comunica colla pila: tosto si vedrà l'ago del galvanometro unito all'altra spirale deviare di un certo numero di gradi. Sarà facile riconoscere che questa corrente è diretta nel verso contrario di quella della pila; ond'è evidente che non fa parte di questa; ma è stata soltanto prodotta per induzione. La deviazione non dura che un istante, dopo di che l'ago torna indietro, e dopo alcune oscillazioni si ferma a zero; quindi anche la corrente che la produce è istantanea. Se dopo che l'ago è tornato in riposo, s'interrompe il circuito della pila, il galvanometro dà indizio di una nuova corrente d'induzione della stessa intensità della prima, ma di cui il verso è opposto al primo, e per conseguenza lo stesso di quello della corrente della pila. La prima corrente indotta dicesi *inversa* e la seconda *diretta*. Gli indicati fenomeni d'induzione si verificano ancora mediante un rocchetto

a due fili, consistente in un cilindro di legno sul quale si avvolgono ad elica, da prima un filo di rame grosso, poi uno più sottile, coperti ambedue di seta (*Tav. II, Fig. 88*) Posti i due capi *a* e *b* del filo sottile in comunicazione colle estremità del filo di un galvanometro si fa passare la corrente voltaica nel filo grosso *c* e *d* che chiamasi il filo *induttore*.

I fenomeni d' induzione elettrodinamica avvengono sempre nel modo che abbiamo indicato qualunque sia la forma dei conduttori che si avvicinano: la disposizione a spirale rende queste azioni maggiori per la maggior lunghezza che può darsi ai due conduttori fra cui accade l'azione. Adunque i fenomeni di cui si tratta possono comprendersi nel seguente principio. *Quando una corrente comincia ad operare sopra un circuito chiuso vi desta una corrente momentanea in direzione opposta alla sua, e quando finisce ve ne eccita un'altra che ha la medesima sua direzione.* Qualunque sia il corpo coibente che s'interpone fra i due conduttori o le due spirali, non si trova differenza nell'azione induttiva; ma se invece il corpo interposto è un buon conduttore della corrente, come sarebbe una lamina metallica, allora gli effetti s'indeboliscono.

Variando la lunghezza e la grossezza del filo nelle eliche in cui si producono le correnti d' induzione, si trova che in un filo molto lungo le correnti indotte crescono d'intensità al crescere del numero delle spirali, mentre in un filo grosso e corto l'intensità aumenta accrescendo la grossezza del filo, e non già aumentandone la lunghezza. L'intensità delle correnti indotte, risulta, dalle esperienze del signor Abria, proporzionale a quella delle correnti inducenti.

Correnti indotte di diversi ordini. Quantunque la durata delle correnti indotte sia istantanea, possono tali correnti dare origine esse pure a nuove correnti indotte, e queste ad altre, e così di seguito. Per dimostrare questo fatto si prende una spirale piana, in presenza della quale se ne mette una seconda, i cui capi si fanno comunicare con una terza, ed in presenza di questa se ne pone una quarta. Facendo passare la corrente nella prima elica, si produrrà nella seconda la corrente indotta, e questa circolando nella terza genererà nella quarta una corrente di seconda induzione. Se in egual

modo si farà comunicare la quarta elica con una quinta, trasmetterà a questa la corrente di seconda induzione, la quale sarà capace di produrre la corrente di terza induzione nella spirale collocata in faccia di essa. Progredendo in tal guisa con altre eliche si potranno avere anche ulteriori induzioni. Si chiama *corrente di prim'ordine* o *primaria* la corrente stessa della pila, e si dicono di *secondo, terzo, quarto* ec. *ordine* le successive correnti indotte. Queste correnti sono alternativamente in versi contrarj, e la loro intensità decresce a misura che sono di un ordine più elevato.

Induzione di una corrente sopra sè stessa. Quando il filo nel quale passa una corrente voltaica è avvolto sopra sè stesso ad elica, si osserva che le spire dell'elica reagiscono le une sulle altre per dare alla corrente maggiore intensità. Infatti con una pila di Bunsen di poche coppie si ottengono scintille appena sensibili, sia chiudendo, sia aprendo il circuito, quando il filo che riunisce i poli è corto e non avvolto ad elica: inoltre una persona che faccia parte del circuito, tenendo in ciascuna mano un elettrodo non sente veruna scossa. Al contrario se il filo è lungo e avvolto replicatamente sopra sè stesso in modo da formare un rocchetto a spire contigue, la scintilla diventa nulla quando si chiude il circuito, ma acquista una considerevole intensità quando si apre; ed una persona collocata nel circuito sente in quest'ultimo caso una scossa, la quale è tanto più forte quanto meglio è stabilito il contatto colle mani, mentre al chiudere del circuito non provava alcuna commozione. Faraday dà ragione di questi fatti singolari supponendo che la corrente che comincia o finisce di passare per ciascun giro dell'elica induca correnti nei giri contigui, per cui quando si chiude il circuito la corrente inducente genera, passando per l'elica, correnti istantanee che vanno per verso contrario, e però all'attacco la scintilla sparirà o sarà piccola; ma venendo al distacco, la corrente inducente generando per induzione altre correnti istantanee nei giri dell'elica, le quali vanno per lo stesso verso, ne avviene un aumento di luce nella interruzione. Per la stessa cagione la scossa è infievolita o annullata al principio del passaggio della corrente, e rinvigorita alla fine. Queste correnti indotte

nei giri dell'elica dalla corrente primaria o inducente furono dette *estracorrenti*.

Gli effetti sopra descritti acquistano intensità anche maggiore se s'introduce nel rocchetto un pezzo di ferro dolce. Anche questo è un fenomeno d'induzione dovuto alla reazione del ferro dolce quando cessa la sua polarità magnetica; ma su ciò torneremo trattando dell'elettromagnetismo.

Effetti di tensione dovuti alle correnti d'induzione. Ruhmkorff ha costruito recentemente dei rocchetti assai potenti, per mezzo dei quali si possono avere dalle correnti d'induzione non solo delle violenti scosse, ma anche degli effetti luminosi che hanno grandissima analogia con quelli delle macchine elettriche a forte tensione.

L'apparato di Ruhmkorff è composto di un grande rocchetto *B* (*Tav. IV, Fig. 103*) collocato verticalmente sopra una grossa lastra di vetro che lo isola. Questo rocchetto dell'altezza di circa 15 centimetri, è formato di due fili: uno grosso, del diametro di due millimetri, che fa trecento giri, ed uno sottile, del diametro di $\frac{1}{4}$ di millimetro, avvolto sul primo, che fa diecimila giri. Questi fili sono coperti di seta, ed inoltre ogni spira è isolata dalla seguente per mezzo di una vernice di gomma lacca. La corrente di una coppia di Bunsen attraversa il filo grosso che è l'induttore. Posto il polo positivo in comunicazione col filo *PH*, la corrente passa pel conduttore *C* in un commutatore *G* (1), indi scende per un pezzo metallico, e giunge ad una lastra di ottone *F* che la conduce ad una delle estremità *v* del filo grosso del rocchetto. Siccome l'altro capo di questo filo va a terminare in *i* ad uno dei piedi di ottone che sostengono la lastra di vetro, la corrente, uscendo dal rocchetto, si reca ad una seconda lastra *c* da cui ascende in una colonna di ferro *u* *A*. Ivi essa giunge ad un martello oscillante *a* (*Tav. IV, Fig. 104*), il quale ora è in contatto con un conduttore *n*, ora ne è distaccato.

(1) Questo commutatore è un cilindro, la cui superficie è in parte metallica ed in parte di legno, e che è capace di ruotare intorno al proprio asse. Il suo ufficio è quello d'interrompere e di ristabilire a volontà la corrente.

Quando avviene il contatto, la corrente segue i conduttori n ed E , come indicano le frecce nella Fig. 103; sale nel commutatore G d'onde ritorna alla pila per mezzo del conduttore d e del filo Q . Il movimento alternativo del martello a è prodotto da un cilindro di ferro dolce o collocato nell'asse del rocchetto. Quando la corrente della pila passa nel filo grosso del rocchetto, il cilindro di ferro si calamita ed attrae dal basso all'alto il martello a che è pur esso di ferro. Allora la corrente è interrotta perchè non può passare nel pezzo n , il cilindro o perde la sua polarità magnetica, ed il martello a ricade. In questo momento la corrente ricomincia, il pezzo a si solleva di nuovo, e così di seguito (1).

Ciò posto, a misura che la corrente della pila passa così ad intermittenza nel filo grosso del rocchetto, ad ogni interruzione si produce nel filo sottile una corrente d'induzione successivamente diretta e inversa. Ora essendo quest'ultimo perfettamente isolato, la corrente indotta acquista una tensione tanto considerevole da produrre effetti luminosi assai intensi. A quest'effetto si fanno comunicare i due capi del filo sottile qy e pz , che escono al disotto della lastra di vetro, colle due aste di un globo M , simile a quello già descritto per le esperienze degli effetti luminosi prodotti nel vuoto dal passaggio della corrente tra due punte di carbone. Rarefatta in questo globo l'aria fino alla pressione di due o tre millimetri, si vede stendersi da una palla all'altra delle due aste una bella striscia luminosa, sensibilmente continua o con intensità eguale a quella che si ottiene con una potente macchina elettrica, il cui disco giri rapidamente. Il polo positivo della corrente indotta è quello che presenta maggiore vivacità; la sua luce è di un rosso infuocato, mentre quella del polo negativo è debole e violacea; inoltre essa si estende lungo tutta l'asta negativa, il qual fenomeno non si produce al polo positivo.

Studiando la luce elettrica fornita dal rocchetto d'induzione di Ruhmkorff, Quet ha recentemente osservato che se prima di fare il vuoto nel globo M dell'esperimento prece-

(1) Il modo di agire di questo interruttore della macchina del Ruhmkorff, sarà meglio inteso, dopo lo studio dell'elettromagnetismo.

dente, si introduce in esso del vapore di olio essenziale di trementina, o di alcool, o di solfuro di carbonio ec., l'aspetto della luce è completamente modificato; essa apparisce allora sotto la forma di una serie di zone, alternativamente brillanti ed oscure, che formano quasi una pila di luce elettrica tra i due poli (*Tav. IV, Fig. 105*). Dalla discontinuità della corrente d'induzione risulta che in questa esperienza la luce non è continua, ma consiste in una serie di scariche, tanto più prossime quanto più rapidamente oscilla il martello α dell'apparato.

Despretz osservò che i fenomeni luminosi costatati da Ruhmkorff e Quet, con una corrente discontinua, si riproducono anche per mezzo di una corrente ordinaria, ma con questa notevole differenza che la corrente continua richiede un numero ben considerevole di coppie di Bunsen, mentre la corrente discontinua del rocchetto di Ruhmkorff non ne richiede che una sola. È pure rimarchevole il fatto constatato dalla esperienza che la intensità degli effetti di questo rocchetto aumenta pochissimo col moltiplicare le pile di Bunsen. Non si conosce ancora la causa della descritta distribuzione della luce elettrica a zone e della colorazione dei poli.

Correnti d'induzione prodotte dalla scarica della bottiglia di Leida. Il migliore apparato per dimostrare queste correnti d'induzione si è quello del Matteucci. Esso è composto di due dischi di vetro del diametro di circa 33 centimetri, fissati verticalmente in due cornici di ottone A e B , sostenute da piedi mobili e che possono avvicinarsi l'una all'altra ad arbitrio. Sulla faccia anteriore del disco A è avvolto a spira un filo di rame C (*Tav. III, Fig. 89*) del diametro di circa due millimetri. I due capi di questo filo attraversano il disco, l'uno al centro, l'altro alla parte superiore, e terminano a due piccoli morsetti simili a quelli rappresentati in m n sul disco B . In questi morsetti s'introducono due fili di rame coperti di seta c e d , che sono destinati a ricevere la scarica induttrice. Su quella faccia dell'altro piatto che trovasi dirimpetto al disco A è pure avvolto a spira un filo di rame più sottile del filo C , e terminato a due pinzette m ed n che ricevono due fili h ed i destinati a trasmettere la corrente indotta. Non so-

lamente i due fili avvolti sui dischi *A* e *B* sono coperti di seta, ma inoltre ciascun circuito è separato dal vicino per mezzo di un grosso strato di gomma lacca, condizione indispensabile per isolare completamente l'elettricità della bottiglia. Per ottenere con questo apparecchio le correnti indotte di cui si tratta, si fa comunicare, come mostra la figura, uno dei capi del filo *C* coll'armatura esterna della bottiglia, e l'altro coll'uncino: all'istante in cui scocca la scintilla l'elettricità circolante nel filo *C*, agendo per influenza sul disco *B*, produce in questo filo una corrente istantanea. Infatti se una persona tiene nelle mani due cilindri di ottone comunicanti coi fili *i* ed *h* riceve una scossa, la cui intensità è tanto maggiore quanto più sono avvicinati l'uno all'altro i dischi *A* e *B*. Questa esperienza dimostra che l'elettricità delle macchine elettriche può in certe circostanze assumere i caratteri della corrente elettrica e produrre al pari di essa delle correnti di induzione.

Induzione statica prodotta dalla corrente elettrica. Mentre l'elettricità statica può talora assumere i caratteri della dinamica, così questa in qualche circostanza può dar luogo a dei fenomeni d'induzione statica. Ciò è stato recentemente scoperto da Faraday, nel porre in pratica un metodo ingegnoso, destinato a riconoscere la perfetta continuità dell'invoglio di gutta-perca che isola i fili di rame delle linee telegrafiche sotterranee o sottomarine. Ecco in che consiste tal metodo. Si prendono molti rocchetti del filo telegrafico, ognuno dei quali porta avvolto un filo della lunghezza di 800 metri, e si sospendono ad un seguito di barche disposte l'una presso l'altra in un canale, in modo che ogni rocchetto sia totalmente immerso nell'acqua, eccetto in un piccol tratto del filo alle due estremità. Si riuniscono insieme le estremità dei rocchetti, spogliate dell'invoglio isolante, in modo da costituire un filo unico di molte migliaia di metri di lunghezza, e si fa comunicare una delle estremità del filo con uno dei poli di una pila, interponendovi un sensibilissimo galvanometro. Questa pila dev'essere assai energica, perfettamente isolata, e deve comunicare col suolo coll'altro suo polo. Ora è chiaro, che se l'isolamento dovuto all'invoglio di gutta-perca non sarà perfetto, si dovrà

stabilire una corrente, la quale verrà manifestata dal galvanometro. Le cose essendo disposte nel modo indicato, se si sopprime la comunicazione della pila col lungo filo, si osservano i seguenti fenomeni: toccando col dito l'una o l'altra delle estremità del lungo filo si prova una forte commozione, la quale è di una certa durata; e non lasciando durare che un istante il contatto del dito col filo, si può decomporre la commozione totale in una quantità di scosse successive. Questo fenomeno indica evidentemente che il filo dopo aver comunicato con uno dei poli della pila, rimane carico di una certa quantità di elettricità che mette un certo tempo a scaricarsi. La cagione di ciò è facile a concepirsi: il filo di rame, l'invoglio isolante ed il liquido conduttore che lo circonda formano evidentemente una bottiglia di Leida d'immensa superficie, la quale quantunque comunicante con una sorgente di elettricità di debole tensione, deve non di meno caricarsi di considerevole quantità di elettrico. Infatti quando si sospende il filo nell'aria invece d'immergerlo nell'acqua, tutti i fenomeni spariscono. Queste esperienze, che servono mirabilmente a mostrare il legame esistente tra i fenomeni di elettrostatica e quelli di elettrodinamica, sono state ripetute da Faraday mediante 2400 chilometri di filo sepolto nel terreno, che costituiscono la linea telegrafica tra Londra e Manchester.

2.° Del Magnetismo.

Esiste in natura un minerale chiamato *calamita* che possiede la proprietà di attirare il ferro. Questo minerale è un ossido particolare di ferro, e la sua mirabile facoltà era conosciuta anche dagli antichi, i quali gli avevano dato il nome di *magnete*, dalla città di Magnesia nella Lidia, in vicinanza della quale incontravasi abbondantemente. Da ciò nacque il nome di *Magnetismo*, che si attribuisce a quella parte della fisica che tratta dei fenomeni a cui dà origine, i quali vennero perciò detti *Magnetici*.

Le più celebri miniere di calamita sono in Siberia, in Svezia e nell'isola d'Elba. Allorquando ad un pezzo di calamita si accostano dei pezzetti di ferro, si veggono ad un tratto

lanciarsi contro di essa e rimanervi aderenti, talchè è necessario uno sforzo più o meno grande per distaccarneli. Se avvolgesi un pezzo di calamita entro la limatura di ferro, quando se ne estrae rimane coperto di lunghi filamenti costituiti dalla riunione di tante particelle di detta limatura. Ma questi fenomeni di attrazione si osservano meglio adoperando un sottile ago di ferro sospeso ad un pernio e mobilissimo intorno al medesimo. Allora vedesi che essi manifestansi anche attraverso a qualunque corpo; che facendo variare la distanza fra l'ago e la calamita varia anche l'azione tra i medesimi. Coulomb, applicando la sua bilancia di torsione alla misura della forza magnetica, ha stabilito che la medesima *cangia in ragione inversa dei quadrati delle distanze*.

L'azione attrattiva della calamita esercitarsi non solo sul ferro, ma anche sopra due altri metalli, vale a dire il nichelio ed il cobalto, sebbene in minor grado.

In ogni calamita vi sono sempre dei punti di maggiore attrazione, dove la limatura si attacca in più copia e dove l'ago è attratto con più forza. Perciò se si copre una calamita con una carta, e sopra questa si sparge uniformemente della limatura di ferro, si vede questa disporsi nel modo rappresentato dalla *Figura 90 Tav. III*; si vede cioè accumularsi in copia attorno ai due punti e ed e' , e andare diminuendo verso la linea $m m'$ situata nel mezzo di quelli. Gli indicati centri di attrazione diconsi *poli* della calamita, e la linea $m m'$ ove l'attrazione è nulla dicesi *linea neutra*. Talvolta nei grossi pezzi di calamita trovansi più di due poli, i quali facilmente riconosconsi alla disposizione della limatura di ferro attorno ad essi.

Se si rompe una calamita, ogni frammento, per quanto piccolo sia, seguita ad avere una linea neutra e due poli almeno.

Allorquando un pezzo di ferro è posto a contatto di una calamita, esso acquista tutte le proprietà della medesima; diviene cioè esso pure una vera calamita, capace di attirare i piccoli pezzi di ferro e la limatura di questo metallo, e dotata de' due poli e della linea neutra. I nuovi pezzi di ferro attratti acquistano le stesse proprietà, ma sempre in minor grado. Se però si distaccano questi varj pezzi di ferro dalla

calamita principale, perdono totalmente le loro proprietà magnetiche, e tornano inerti come prima. Se però si sottopone il ferro, mentre è a contatto di una calamita, a qualche azione meccanica, come la percussione, la torsione ec., esso conserva le proprietà magnetiche acquistate.

L'acciajo temperato, non così prontamente come il ferro acquista le proprietà magnetiche in contatto della calamita, ma tosto che le ha acquistate le conserva permanentemente. Ciò ha fatto dire ai fisici che l'acciajo temperato è dotato di *forza coercitiva*, ed il ferro dolce ne è privo; denotando con questo nome una forza che si oppone al pronto sviluppo della polarità magnetica, ma prodotta che sia, impedisce che prontamente si neutralizzi. Difficile è trovare il ferro tanto dolce che sia affatto privo di forza coercitiva, come è forse impossibile trovare una forza coercitiva assoluta nell'acciajo temperato, per cui si ha un minimo di cotesta forza nel ferro il più dolce ed un massimo nell'acciajo meglio temperato. S'incontra cioè una serie di gradazioni nelle diverse qualità di ferro non che ne' diversi gradi di tempera dell'acciajo. Allorquando la calamita eccita nel ferro o nell'acciajo il magnetismo polare, essa non comunica loro una porzione della propria forza, perocchè nulla perde della sua energia; e perciò dicesi da alcuni fisici che nel ferro e nell'acciajo esiste il fluido neutro, il quale fino a che non si scompone non si manifesta con l'aspetto della polarità; ma la calamita inducendo colla sua presenza nel ferro e nell'acciajo la separazione de' due fluidi antagonisti costituenti il fluido neutro fa che questi corpi divengano essi pure delle vere calamite.

Si profitta della facoltà dell'acciajo di conservare il magnetismo per costruire delle *calamite artificiali*, le quali altro non sono che barre e cilindri di acciaio calamitati. Un *ago calamitato* consiste in un piccolo rettangolo o losanga di acciaio calamitato (*Tav. III, Fig. 91*) che ha i due poli situati alle estremità, ed è mobile su di un pernio. Si fanno anche dei fasci di verghe o sbarre calamitate (*Tav. III, Fig. 92*), aventi tutte gli stessi poli nelle medesime estremità. Talvolta si dà alle sbarre calamitate la forma di un ferro di cavallo (*Tav. III, Fig. 93*), nel qual caso i due poli sono molto vicini tra loro.

Alle calamite naturali si sogliono aggiungere due lamine di ferro dolce che si dispongono sulle faccie corrispondenti ai poli, e si fanno terminare ciascuna con un piede massiccio di ferro (*Tav. III, Fig. 94*). Sotto l'influenza della calamita naturale queste lamine si calamitano, ed è facile vedere che rappresentando con *A* e *B* i poli della calamita naturale, quelli delle armature si troveranno rispettivamente in *a* e *b*. Ora queste armature, divenendo calamitate, reagiscono a lor volta sul fluido neutro della calamita naturale, lo decompongono, ed aumentano per tal modo la potenza magnetica. Alle calamite armate, ed alle calamite a ferro di cavallo si suol tenere unito un pezzo *a' b'* di ferro dolce (*Tav. III, Fig. 93 e 94*), che lasciassi attaccato ai loro poli. Questo pezzo chiamasi l'*ancora* della calamita, e compie l'ufficio di un'altra armatura, perocchè calamitandosi esso pure i suoi poli reagiscono su quelli della calamita. All'ancora delle calamite si sospende un bacino di bilancia che si può caricare di pesi per avere la misura della forza della calamita; ed è singolare il fatto osservato che lasciando carico il bacino sospeso ad una calamita del maggior peso che può sopportare, dopo un certo tempo la forza della calamita ha aumentato, poichè può sostenere un peso maggiore. In questa guisa si può accrescere successivamente la forza di una calamita, fino a un certo limite, che non è dato oltrepassare.

Il riscaldamento diminuisce il potere magnetico delle calamite, al punto che al di sopra di 300° esse perdono la loro polarità, e non resta loro se non che la proprietà di essere attratte da un'altra calamita, a guisa del ferro dolce. Al contrario il raffreddamento accresce la forza magnetica.

Azione reciproca delle calamite. Mentre tra il ferro e la calamita si osserva soltanto attrazione, tra le calamite ha luogo attrazione e repulsione. Si abbia una barra calamitata imperniata su di un sostegno e mobilissima attorno al medesimo. Sarà facile costatare che uno dei suoi poli è attratto da un polo di un'altra calamita, mentre l'altro suo polo è respinto da questo. Se si hanno più calamite, e si fanno agire sull'ago mobile; si vedrà che tutte con uno dei loro poli respingono un'estremità dell'ago e coll'altro l'attraggono. Perciò diconsi

poli dello stesso nome quelli che si comportano nello stesso modo sopra lo stesso polo della calamita mobile, e *poli di nome contrario* di due calamite quelli dei quali uno attira e l'altro respinge un medesimo polo della calamita mobile.

Se si fanno agire tra loro le estremità di diverse calamite mobili, sarà facile costatare la legge: che i *poli dello stesso nome* si respingono, ed i *poli di nome contrario* si attraggono.

Azione della terra sulle calamite. Un'altra importante proprietà delle calamite consiste nell'influenza che il globo terrestre esercita su di esse allorquando possono muoversi liberamente. Infatti, se dopo aver calamitato un ago di acciaio si sospende pel suo centro di gravità ad un filo, ovvero si pone in bilico su di una punta di acciaio, si vede che esso prende una direzione determinata verso un punto dell'orizzonte che è presso a poco quella da mezzogiorno a settentrione. Questa direzione è così costante, che quand'anche si sposta l'ago, esso vi ritorna sempre dopo un numero più o meno grande di oscillazioni, e con perfetta precisione. Inoltre si osserva che è sempre la stessa estremità dell'ago quella che è rivolta verso il nord e sempre la stessa quella che guarda il sud; di modo che se si gira l'ago di 180° , esso non rimane in equilibrio, ma lasciato a sè stesso descrive una semicirconferenza e ritorna alla primitiva sua posizione. La punta dell'ago che si dirige verso il nord è stata chiamata *polo nord* dell'ago e l'altra *polo sud*. Onde riconoscere immediatamente questi poli, e quindi dedurre la posizione del nord, gli artefici hanno cura ordinariamente di rendere azzurra col riscaldamento, la metà dell'ago che si dirige verso il nord, e di lasciare col suo colore naturale quella che guarda il sud. La direzione dell'ago magnetico è costante in un medesimo luogo, a una data epoca, ma cambia cogli anni, e non è la stessa nei differenti luoghi. Anche nel corso del giorno in un dato punto del globo va soggetta a delle piccole variazioni periodiche, che per tal motivo sono state chiamate *variazioni diurne*.

Declinazione dell'ago magnetico. Abbiamo detto che la direzione dell'ago magnetico non è esattamente quella di sud a nord; perciò si è dato il nome di *meridiano magnetico* al piano che passa pel centro della terra e per la direzione dell'ago

calamitato nel luogo che si considera, per distinguerlo dal *meridiano* terrestre che è il piano che passa dal medesimo luogo e per l'asse della terra. L'angolo che fanno questi due piani, o, ciò che è lo stesso, le due *tracce* che lasciano sulla superficie della terra, chiamasi *declinazione* dell'ago magnetico. Si determina misurando l'angolo che la direzione dell'ago calamitato orizzontale fa colla linea meridiana. La declinazione è *orientale* o *occidentale*, secondo che il polo nord dell'ago è all'est o all'ovest della linea meridiana. Attualmente per l'Europa la declinazione dell'ago magnetico è occidentale, ed è a Firenze di $14^{\circ} 3'$, mentre a Parigi è di 20° .

Fu da prima creduto che l'ago magnetico si dirigesse perfettamente da sud a nord, secondo la direzione cioè del meridiano terrestre, ma Cristoforo Colombo nel 1492, attraversando l'Oceano per andare alla scoperta del nuovo mondo, si avvide dell'errore in cui si era, e perciò si è dopo riconosciuto esser ciò vero soltanto per alcuni luoghi e non sempre; ma in generale la direzione dell'ago essere in una linea più o meno prossima al meridiano terrestre.

La terra adunque spiega un'azione *direttrice* sopra le calamite o gli aghi magnetici, come se essa stessa fosse una calamita, ed avesse dei centri di azione magnetica collocati in vicinanza dei suoi poli. Perciò si ammette che l'estremità di un ago che guarda al sud della terra possenga le proprietà magnetiche dell'emisfero boreale, e quella estremità che è rivolta al nord possenga quelle dell'emisfero australe. Quindi per obbedire alla legge che i poli di nome contrario si attraggono mentre quelli dello stesso nome si respingono, si deve dare il nome di *polo australe* all'estremità dell'ago che guarda il nord della terra, e di *polo boreale* a quella che guarda il sud; ma ordinariamente si chiama polo nord quello che guarda il nord, e polo sud quello che guarda il sud.

Si chiama *bussola di declinazione* ogni apparecchio atto a servire alla misura dell'angolo di declinazione; o reciprocamente a determinare la direzione di sud a nord, vale a dire la meridiana, quando la declinazione magnetica è conosciuta. Perciò ordinariamente consiste in una scatola circolare di rame o di legno ricoperta da un vetro, al centro della quale

è sospeso su di una punta un ago magnetico mediante un cappelletto di acciaio o di agata. Il piano della scatola al di sopra del quale si muove l'ago, è accuratamente diviso nella sua circonferenza ed anco talvolta fornito di una rosa de' venti. Quando la bussola deve prender posto tra gl'istrumenti di un osservatorio, allora è formata nel modo che indica la *Fig. 93, Tav. III*. L'ago magnetico è al solito bilicato nel modo che abbiamo indicato entro una scatola di rame coperta da un vetro, nel fondo della quale v'ha un cerchio graduato su cui leggonsi le divisioni alle quali corrispondono le punte dell'ago. Questa scatola può girare intorno, rimanendo fisso il suo piede livellato mercè le viti *v, v'*. Intorno alla scatola sta un cerchio graduato *z z* che chiamasi *cerchio degli azimut*. Due vernieri, uno dei quali si vede in *n*, sono fissati agli orli della scatola alle estremità di un medesimo diametro, e servono a misurare di quanti gradi si fa essa girare, sia partendo dallo zero, sia da una divisione qualunque del cerchio degli azimut. Un canocchiale *t t* è sostenuto dall'asse *e e'* parallelo al cerchio degli azimut, ed il suo mezzo corrisponde sulla punta che sostiene l'ago. Il canocchiale porta un nonio *i s*, che scorrendo sull'arco graduato *u u*, fa conoscere l'angolo della visuale coll'orizzonte.

Per osservare con siffatto istrumento la declinazione, si fa rotare la scatola per condurre nel campo del canocchiale un astro conosciuto di cui si determina l'altezza, ed in pari tempo si legge la divisione corrispondente del cerchio dell'ago e del cerchio degli azimut; si avrà così l'angolo che il meridiano magnetico fa col piano verticale o azimut dell'astro nel momento dell'osservazione. Trovato poi coi metodi astronomici l'angolo che l'azimut dell'astro fa col meridiano del luogo, se ne deduce quello che questo fa col meridiano magnetico, ossia la declinazione.

La *bussola nautica*, detta anche *compasso delle variazioni*, (*Tav. III, Fig. 96*) è quella di cui si fa uso sulle navi. Essa è una bussola di declinazione alquanto diversamente conformata. Prima di tutto la scatola di rame che contiene l'ago magnetico è situata in modo che possa tenersi presso a poco orizzontale, malgrado le agitazioni del mare, il che si consegue

con la così detta *sospensione di Cardano*, che consiste nell'essere sostenuta da due anelli concentrici mobili intorno a due assi orizzontali che segansi ad angoli retti. Sull'ago è incollato un disco di cartone con lembo graduato sul quale è tracciata una stella o rosa de'venti a 32 raggi o rombi, uno dei quali corrisponde sul polo nord dell'ago ed è contrassegnato con un giglio. Invece del canocchiale v'hanno sull'orlo della scatola due traguardi per prendere un azimut. Nella navigazione a piccole distanze si va colla bussola corretta, perchè a piccole distanze non essendovi sensibili variazioni di declinazione, non si ha bisogno di determinarla in mare, e si tiene conto di quella del luogo d'onde si parte. La bussola in questo caso è senza traguardi. Per dirigere una nave colla bussola, si esamina prima su di una carta marina, secondo qual rombo di vento la nave debba dirigersi per arrivare al luogo destinato. Allora il timoniere, coll'occhio sempre rivolto alla bussola, gira il timone fintantochè il rombo determinato segnato sulla rosa coincida con una *linea di fede*, che passa per due punti segnati sui lembi della scatola nella direzione della chiglia della nave.

Si ritiene generalmente per inventore della bussola l'amalfitano Flavio Gioja che visse nel tredicesimo secolo. Molti per altro lo negano, mostrando come i Chinesi già conoscessero l'uso dell'ago calamitato. E se realmente il Gioja non fu lo scopritore della virtù dell'ago di dirigersi sotto l'azione della terra, e neanche fu il primo ad usarne nella navigazione, sembra però che egli ne introducesse l'uso in Europa, e da lui avesse il nome di bussola l'istrumento destinato a dirigere le navi. Sembra inoltre che quel giglio, che ordinariamente vien disegnato sul polo nord dell'ago, tragga origine dallo stemma degli Angioini, che ai tempi di Gioja regnavano negli stati napoletani. Gli antichi ai quali era ignota la bussola non avevano altra guida che il sole o la stella polare; onde erano costretti di navigare poco lungi dalle spiagge per tema di smarrirsi quando il cielo veniva a coprirsi di nubi.

La bussola di declinazione è pure impiegata in agrimensura, negli scavi delle miniere ec., ed è variamente modificata a seconda di questi diversi suoi usi.

Le varie applicazioni della bussola di declinazione non possono riuscire esatte se non quando l'asse magnetico dell'ago, cioè la retta che passa pei suoi due poli, coincida coll'asse di figura, ossia colla retta che ne congiunge le estremità. Ora siccome generalmente una tal condizione non si trova soddisfatta, si corregge questa causa di errore col metodo del rovesciamento. Perciò l'ago non è fissato al cappelletto, ma gli è soltanto sovrapposto, onde si possa toglierlo, rivolgerlo e collocarlo di nuovo sul medesimo, in modo che la superficie inferiore diventi superiore e viceversa. Prendendo la media tra la declinazione allora segnata dall'ago o quella che indicava prima, si ha la declinazione esatta. Difatti, se la retta e rappresenta l'asse di figura dell'ago e la retta $a b$ il suo asse magnetico (Tav. III, Fig. 97), la vera declinazione non è segnata dall'arco $e N$, il quale è troppo grande, ma dall'arco $a N$. Ora rivolgendo l'ago, l'asse magnetico ritorna esattamente nella sua primitiva direzione, e l'estremità e dell'ago, passando allora tra i punti a ed N , segna un arco che è minore della vera declinazione precisamente di una quantità eguale a quella di cui la supera il primo. Quindi la media fra i due archi osservati dà la vera declinazione.

Inclinazione dell'ago calamitato. Nella descrizione che abbiamo fatta della bussola declinatoria, abbiamo supposto che l'ago calamitato fosse sospeso pel suo centro di gravità; ma a vero dire questo punto viene determinato dopo che l'ago è stato calamitato. Difatti, se si determina avanti, vale a dire se si sospende ad un filo di seta senza torsione un ago di acciajo non calamitato, in modo che sia perfettamente orizzontale, si vede che dopo essere stato calamitato non conserva più la sua orizzontalità, quantunque rimanga sospeso nella stessa guisa. Esso comincia dal prendere l'ordinaria direzione di sud-est a nord-ovest, poi vedesi il suo polo nord inclinarsi come se dalla parte di questo polo la metà dell'ago fosse più pesante dell'altra. Nondimeno è facile assicurarsi direttamente che la magnetizzazione non ha affatto aumentato il peso dell'ago in veruna delle sue parti. L'effetto manifestatosi è il risultato della stessa azione che determina la direzione costante

dell'ago di declinazione, e dicesi *inclinazione*. Essa misurasi dall'angolo che fa coll'orizzonte un ago che può muoversi liberamente attorno al suo centro di gravità nel piano del meridiano magnetico.

La bussola d'inclinazione (*Tav. III, Fig. 98*) è costituita da un ago magnetico $g\ g'$ traversato nel suo centro di gravità da un asse cilindrico di acciaio levigato, che riposa colle sue due estremità su due coltelli di agata ben taglienti. Questo asse di rotazione coincide esattamente col centro di un cerchio verticale $l\ l'$ graduato. Questo cerchio verticale riposa sopra un sostegno mobile intorno ad un asse verticale $x\ x'$, la cui direzione passa pel suo centro e quindi per l'asse di sospensione dell'ago. Un cerchio orizzontale $z\ z'$, chiamato *cerchio degli azimut*, permette di determinare ad ogni momento gli angoli descritti dal cerchio verticale. Quando questo cerchio verticale è situato nel meridiano magnetico, allora è facile il misurare la inclinazione, ma quando si trova in un altro piano, l'angolo d'inclinazione aumenta; e diviene di 90° , ossia l'ago si riduce verticale, quando il piano del cerchio anzidetto è perpendicolare al meridiano magnetico, perocchè l'azione magnetica della terra sollecita l'ago mediante due forze, le quali agiscono ambedue nel piano del meridiano magnetico, ma l'una orizzontalmente e l'altra verticalmente; e quando l'ago è nella posizione indicata, essendo distrutta l'azione della componente orizzontale, esso deve ubbidire interamente alla componente verticale. Si ricava dunque da questo una regola per collocare il cerchio verticale nel meridiano magnetico, la quale consiste nel girare questo cerchio fino a che l'ago si riduce verticale, e poi partendo da questa giacitura girarlo intorno dell'asse $x\ x'$ per 90° misurati sul cerchio orizzontale $z\ z'$. L'angolo che fa allora l'ago calamitato col diametro orizzontale è l'angolo d'inclinazione.

Però s'incontrano due cause di errore, e sono: che l'asse magnetico dell'ago non coincida col suo asse di figura, e che il suo centro di gravità non coincida coll'asse di sospensione. Il primo errore si corregge col metodo del rovesciamento, come abbiamo indicato per la bussola di declinazione; il secondo fa sì che l'angolo d'inclinazione sia troppo piccolo o

troppo grande, a seconda che il centro di gravità si trova al di sopra o al di sotto del centro di sospensione; perchè nel primo caso l'azione della gravità si oppone a quella del magnetismo terrestre, mentre nel secondo vi si aggiunge. Si corregge questo errore invertendo i poli dell'ago, ciò che si ottiene confricandolo coi poli contrarj di due calamite, in modo che sopra ciascun polo dell'ago passi un polo dello stesso nome. Siccome allora l'ago si dispone nel verso contrario, così se il suo centro di gravità era sopra del punto di sospensione, ora si trova al di sotto, e l'inclinazione che veniva indicata, e che era minore della vera, ora diventa maggiore; e il suo esatto valore si avrà prendendo la media delle due osservazioni così effettuate.

Dopo quanto abbiamo esposto intorno all'inclinazione dell'ago magnetico, s'intenderà facilmente che l'ago di declinazione affinchè possa muoversi in un piano orizzontale non può star sospeso o bilicato pel suo centro di gravità senza un contrappeso che distrugga la inclinazione, il quale contrappeso dovrà esser maggiore dove la inclinazione è più grande.

Azione magnetica della terra sul ferro dolce. L'azione magnetica della terra si mostra anche capace di magnetizzare il ferro. Se si tiene verticalmente, o meglio nella direzione dell'ago inclinatorio, una barra di ferro dolce di un metro di lunghezza, si osserva che acquista due poli; vale a dire il polo nord alla sua estremità inferiore, ed il polo sud alla sua estremità superiore. E se mentre il ferro dolce è così magnetizzato per l'azione della terra, si percuote o si torce o gli si fa subire qualche altra azione meccanica, il suo magnetismo diviene permanente, vale a dire non cessa anche dopo il suo allontanamento dalla posizione in cui avealo acquistato. Anche l'ossidazione dell'aria produce il medesimo effetto. Egli è a questa cagione che è dovuto il magnetismo di cui sono dotati tutti i pezzi di ferro che sono rimasti lungo tempo in una stessa posizione, come sarebbero le aste delle torri, le barre che si dispongono nelle costruzioni ec. Anche gli arnesi di ferro o di acciaio dei diversi mestieri presentano

lo stesso fenomeno, e ciò a motivo dei continui movimenti vibratorj cui vanno soggetti nel loro uso.

Errori della declinazione osservata sulle navi. Nelle navi si fa uso di molto ferro di cui parte entra nella struttura stessa della nave e parte spetta agli attrezzi della medesima. I pezzi del primo genere sono fissi, mentre quelli del secondo, come le ancore, le catene ec., sono più o meno mobili. Tutti questi pezzi di ferro perturbano la declinazione in modo da potervi indurre talvolta un errore di 15° in 20° . Questa perturbazione avviene per tre cause differenti, cioè: 1.^o per l'attrazione ordinaria del ferro per l'ago magnetico; 2.^o pel magnetismo permanente che alcuni pezzi di ferro possono avere per le ragioni di sopra indicate; 3.^o infine pel magnetismo temporaneo che i varj pezzi di ferro acquistano per l'azione della terra secondo le loro posizioni rispetto al meridiano magnetico.

Barlow ha proposto varj metodi per evitare i pericolosi errori a cui potrebbe la navigazione andare incontro per le cause ora indicate. Uno di questi metodi consiste nel porre in vicinanza della bussola una sbarra di ferro dolce, la cui azione sull'ago sia equivalente all'azione totale di tutto il ferro sparso sulla nave. Si determina a forza di tentativi la posizione che le si deve dare affinchè la sua azione equivalga a quella di tutto il ferro del bastimento. Trovata questa posizione ecco il metodo per correggere le osservazioni di una bussola. Si osserva la direzione dell'ago, primieramente dopo rimossa la sbarra, e poi dopo di averla rimessa esattamente al suo posto. La deviazione del meridiano magnetico alla seconda osservazione dovrebbe risultare doppia di quella ottenuta alla prima: il paragone dei risultati farà dunque conoscere la deviazione dovuta al ferro della nave; e quindi la correzione da farsi.

Un altro metodo è stato parimente impiegato da Barlow, e consiste nel porre la nave in tutte le direzioni possibili, e nel paragonare in ognuna di esse la direzione della bussola con quella di un ago calamitato rimasto sulla riva, a fine di determinare praticamente la correzione che convien fare alla declinazione osservata per avere quella esatta. Ma questo pro-

cesso, come anche il precedente, esige una serie di operazioni distinte per ogni particolare bastimento, le quali inoltre non riescono senza qualche difficoltà pratica.

Misura dell'intensità del magnetismo terrestre. Il miglior metodo adoprato per avere questa misura è quello del Borda, il quale è fondato sui principj seguenti. Un ago liberamente sospeso quando si rimuova un poco dalla sua posizione e si abbandoni a sè stesso, fa numerose oscillazioni se è regolarmente calamitato e se l'asse di oscillazione passa pel suo centro di gravità. Esso oscilla per lo sforzo della coppia magnetica della terra, nel modo stesso che fa un pendolo per l'azione della gravità; e se il magnetismo dell'ago rimarrà invariabile, una differenza nella durata delle oscillazioni non potrà dipendere che da una diversa intensità delle forze magnetiche che lo fanno muovere. Onde mettere in pratica questi principj, si adopra una piccola sbarra calamitata sospesa ad un filo senza torsione, che si scosta dal meridiano magnetico per l'influenza di un pezzo di ferro che tosto si allontana. Si contano le oscillazioni che compie in un dato tempo, per esempio in un minuto; il quadrato di questo numero serve a misurare l'intensità della forza direttrice decomposta orizzontalmente. Nota essendo l'inclinazione è facile concludere l'intensità della forza direttrice totale. La serie di osservazioni fatte con due sbarre differenti sono comparabili quando è conosciuto il rapporto delle energie magnetiche di ciascuna sbarra, ossia quello de'quadrati del numero delle oscillazioni fatte contemporaneamente nel medesimo luogo ed in tempi eguali. Affinchè le osservazioni d'intensità sieno comparabili è necessario inoltre che sieno fatte alla stessa temperatura, attesa l'influenza del riscaldamento sul magnetismo. Essendo fatte a temperature diverse è necessario correggere i risultati mediante le tavole di Rupfer.

Variazioni della declinazione magnetica. La declinazione che fa col meridiano terrestre il meridiano magnetico varia da un luogo all'altro: in Europa la punta dell'ago che è volta al nord, guarda occidente, dimodochè la declinazione dicesi *occidentale*. In America e nel nord dell'Asia è *orientale*. Vi

sono luoghi ne' quali la declinazione è nulla, e questi cadono sopra due linee assai irregolari, le quali diconsi *linee senza declinazione*. Una di queste è situata nell'Oceano Atlantico fra l'antico e il nuovo mondo; taglia il meridiano di Parigi al 65° di latitudine australe, rimonta al nord-ovest fino a 35° di longitudine, e diviene quasi coincidente colla linea che va da tramontana a mezzodi lungo le coste del Brasile. La seconda linea ha per punto di partenza il grande arcipelago, si alza verso tramontana e viene a traversare la parte orientale della Siberia. Queste linee senza declinazione si spostano; hanno un movimento secolare diretto da levante a ponente; ma lo spostamento pare non uniforme in tutta la loro estensione, imperocchè da 150 anni in poi la declinazione non ha sensibilmente cambiato alla Nuova-Olanda. Sono state pure tracciate delle linee di *eguale declinazione*, le quali sono sparse sul globo senza alcuna simetria e senza alcuna notevole relazione coi grandi circoli del globo.

In ogni luogo la declinazione va soggetta a variazioni che sembrano dipendenti dal moto delle linee senza declinazione. Così per esempio, a Parigi nel 1633 non v'era declinazione, mentre per l'innanzi era stata orientale. Da quell'epoca divenne occidentale e andò successivamente crescendo, in guisa che mentre nel 1678 era di $1^{\circ}, 30'$, nel 1700 divenne di $8^{\circ}, 10'$, nel 1780 di $19^{\circ}, 85'$, e raggiunse il suo massimo nel 1823, in cui divenne di $22^{\circ}, 28'$. Ora poi va diminuendo per modo che nel 1850 era già arrivata a $20^{\circ}, 34'$.

Oltre queste variazioni secolari, la declinazione ne subisce anche delle *annue* e delle *diurne*. Le prime furono costatate da Cassini, il quale nel 1784 osservò che dall'equinozio di primavera al solstizio di estate l'ago, a Parigi, retrocedeva verso l'est, e che invece si avanzava verso l'ovest nei nove mesi successivi. Il Gilpin confermò questa legge con osservazioni fatte a Londra nel 1800. Secondo le osservazioni di Arago le indicate variazioni avvengono nelle epoche indicate quando la declinazione è occidentale e va aumentando d'anno in anno, e la loro ampiezza diminuisce a misura che allentasi il movimento secolare, fino a sparire quando la declinazione giunge al limite del suo movimento occidentale. Quan-

do poi la declinazione diminuisce di anno in anno, si osserva di nuovo un'oscillazione annua, ma il moto verso est ha luogo dal settembre al dicembre. Le variazioni diurne sono più notabili nelle regioni settentrionali, ove l'ago non resta mai stazionario. In Europa l'estremità nord dell'ago va costantemente verso l'ovest dopo l'alzata del sole fino ad un'ora dopo mezzogiorno; e quindi torna verso l'est, in modo da riprendere quasi esattamente verso dieci ore di sera, la posizione che occupava nella mattina. Di notte l'ago presenta pochissime variazioni spostandosi però un poco verso l'ovest. Le variazioni diurne sono assai deboli e non possono costatarsi se non per mezzo di lunghi aghi. A Parigi l'ampiezza media delle variazioni diurne è pei mesi di aprile, maggio, giugno, luglio, agosto e settembre di 13' a 15', e per gli altri mesi di 8 a 10'. In alcuni giorni si eleva a 23', e in altri non oltrepassa 5'. L'ampiezza delle variazioni diurne decresce dai poli verso l'equatore, ove è piccolissima. Vicino all'equatore v'ha una linea senza variazione diurna. Nell'emisfero australe queste variazioni hanno luogo nel verso contrario, cioè il polo nord va verso l'est al mattino, e la sera torna all'ovest.

Infine la declinazione magnetica può essere perturbata nelle sue variazioni diurne da molte cause accidentali, quali sono le aurore boreali, le eruzioni vulcaniche, i terremoti, le scariche elettriche. L'effetto delle aurore boreali si fa sentire a notevoli distanze; così per esempio, quelle che sono visibili soltanto nei paesi più settentrionali di Europa agiscono sull'ago a Parigi, facendolo deviare perfino di 20'. Nelle regioni polari queste oscillazioni hanno talvolta l'ampiezza di alcuni gradi. Il moto irregolare dell'ago nel giorno che precede l'aurora boreale è un pronostico del fenomeno. Nel tempo dell'eruzione del Vesuvio del 1839 fu veduta nell'osservatorio di Napoli diminuire rapidamente la declinazione dell'ago di più di un mezzo grado. Il fulmine poi cadendo in vicinanza di un ago calamitato, altera il suo stato magnetico, e qualche volta ne rovescia i poli.

Variazioni della inclinazione magnetica. L'inclinazione cresce in generale colla latitudine e nel verso contrario nei due emisferi. Partendo dalla nostra latitudine e andando verso l'equatore, seguendo sempre il medesimo meridiano, si os-

serva una continua diminuzione, e si trova un punto in cui esso è nullo, vale a dire l'ago si pone orizzontale. Oltrepas-
sando questo punto l'inclinazione ricomparisce, ma nel verso
contrario, vale a dire il polo nord che prima era in basso,
ora va in alto, ed il polo sud invece si abbassa al di sotto
della linea orizzontale. Lo stesso si osserva su di ogni me-
ridiano, per cui si deduce esservi presso all'equatore una linea
senza inclinazione, e questa si chiama *equatore magnetico
della terra*. La linea dell'equatore magnetico è molto sinuosa
e forma assai irregolarmente un gran circolo della terra, il
quale taglia in varj punti l'equatore terrestre. Gli osservatori
non sono però d'accordo nel tracciarne la forma e nell'indi-
carne i nodi, vale a dire i punti d'incontro coll'equatore
terrestre; ma è da supporre che la differenza de' risultati ot-
tenuti da essi ad epoche diverse, derivi da uno spostamento
cui vada soggetta col tempo questa linea senza inclinazione.

Se invece di dirigerci verso l'equatore anderemo verso
nord, vedremo la inclinazione andare crescendo, e giungeremo
a un punto in cui l'ago si pone verticale come il filo a piombo,
colla punta nord rivolta verso terra; e questo punto di mas-
sima inclinazione, si chiama *polo magnetico boreale* della terra.
Questo punto fu dal capitano Ross trovato a 70° di latitudine
e 90° di longitudine occidentale. E poichè passato l'equatore
magnetico la inclinazione cresce pure colle latitudini, ma in
verso contrario a quello del nostro emisfero, è da supporre
che vi debba essere un altro punto in cui l'angolo d'inclina-
zione sia di 90° , ma colla punta sud dell'ago al disotto, il
qual punto sarebbe il polo magnetico australe della terra.
Desso però non è anche stato incontrato, perocchè nessun na-
viglio ha potuto spingersi tant'oltre.

La inclinazione va soggetta, come la declinazione, a varia-
zioni secolari, annue ed anche diurne. A Parigi nel 1671 era
di 75° , nel 1798 di 96° , $51'$, nel 1835 di 67° , $24'$. Queste va-
riazioni devono essere legate allo spostamento dell'equatore
magnetico. Ne segue che anche i poli magnetici non debbono
avere una posizione fissa.

*Distribuzione dell'intensità magnetica alla superficie della
terra.* Le osservazioni d'intensità magnetica raccolte in un gran
numero di luoghi hanno condotto l'Humboldt ad ammettere

che l'intensità magnetica del globo terrestre cresca colla latitudine, vale a dire andando dall'equatore verso i poli. La linea senza inclinazione magnetica è al tempo stesso quella di minore intensità. Ai poli l'intensità magnetica sembra essere una volta e mezzo più grande che all'equatore.

Riunendo con linee i punti che alla superficie terrestre hanno una eguale intensità magnetica si formano delle curve che hanno ricevuto il nome di *linee isodinamiche*. Duperrey ne tracciò nove al nord dell'equatore magnetico, e trovò che queste linee per la loro curva e direzione hanno una grande analogia colle linee *isoterme* o di eguale temperatura.

Variazioni della intensità magnetica. L'intensità magnetica della terra varia colle ore del giorno: giunge al suo minimo fra le dieci e le undici del mattino ed al suo massimo fra quattro e cinque ore dopo mezzogiorno. Essa presenta anche delle variazioni irregolari, ed al pari della inclinazione e della declinazione subisce delle perturbazioni accidentali sotto l'influenza delle aurore boreali. In generale si osserva che l'infusso di questa meteora tende a indebolire l'intensità magnetica.

Magnetizzazione per mezzo delle calamite. Volendo magnetizzare l'acciajo per mezzo delle calamite si usano tre metodi, vale a dire quello del contatto semplice, del contatto separato, e del doppio contatto. Qualunque di questi tre metodi si prescelga per calamitare una sbarra di acciaio, la potenza magnetica che questa può acquistare ha un limite che dipende dal grado della sua tempera e dalla forza delle calamite che si adoprano. Quando si è raggiunto questo limite si dice che la sbarra è calamitata a *saturazione*. Se nel magnetizzarla si oltrepassa questo limite, la sbarra perde ben tosto l'eccesso del magnetismo acquistato sotto l'influenza della calamita. Nessun metodo può forzare una sbarra a conservare maggior magnetismo di quello che ne comporta la saturazione.

Il *metodo del contatto semplice* consiste nel fare scorrere il polo di una forte calamita da un capo all'altro della sbarra che si vuole calamitare, e nel ripetere parecchie volte lo strisciamento sempre nello stesso verso. L'estremità della sbarra da cui si è cominciata l'operazione acquista un polo eguale a

quello col quale si opera lo strisciamento, e l'altra il polo contrario. Convien guardarsi dallo strisciare colla calamita sull'ago nel verso opposto a quello con cui si è cominciato, perocchè operando in tal guisa si distruggerebbe ogni volta una parte del magnetismo comunicato. Con questo processo non si comunica all'acciajo che una debole potenza magnetica; e perciò non può essere applicato se non a piccole sbarre: inoltre esso ha l'inconveniente di sviluppare non di rado sulla lunghezza della sbarra varj poli magnetici, o *punti conseguenti*, come si dicono, disposti in modo che due poli di nome contrario trovansi sempre prossimi fra loro.

Il *metodo del contatto separato*, proposto da Knight in Inghilterra nel 1745, consiste nel collocare i due poli opposti di due calamite d'egual forza nel mezzo della sbarra che vuolsi calamitare e nel farli scorrere simultaneamente uno verso un capo della sbarra, l'altro verso l'altro, teuendoli in direzione verticale. In seguito si porta di nuovo ciascuna calamita verso il mezzo della sbarra e si ripete la stessa operazione. Dopo di avere operati in questo modo parecchi strisciamenti sulle due facce della sbarra questa è calamitata. Duhamel perfezionò questo metodo collocando le due estremità della sbarra che vuolsi calamitare sui poli opposti di due calamite fisse, la cui azione concorre con quella delle calamite mobili che servono ad operare lo strisciamento. La posizione relativa dei poli dev'essere quale dimostra la figura (*Fig. 99, Tav. V*). Questo processo è quello che dà la magnetizzazione la più regolare.

Nel *metodo del doppio contatto* dovuto a Mitchell, le due calamite che servono ad operare lo strofinamento sono pure collocate nel mezzo della sbarra che vuolsi calamitare e coi poli opposti rimpetto l'uno all'altro; ma invece di farle scorrere per versi contrarj verso le estremità della sbarra si tengono ad una distanza fissa per mezzo di un piccolo pezzo di legno interposto (*Tav. V, Fig. 99*), e si fanno scivolare insieme dal mezzo ad una delle estremità, indi da questa all'altra, e così di seguito, per un egual numero di volte, sopra ciascuna delle due metà della sbarra. Epino nel 1758 perfezionò questo metodo, collocando come nel processo del con-

tatto separato, due forti sbarre calamitate sotto quella che vuolsi calamitare, e tenendo le calamite mobili inclinate ad essa di 15 a 20°. In tal modo si ottengono delle sbarre fortemente calamitate, ma che presentano spesso dei punti conseguenti.

Devesi notare che in tutti i descritti processi di magnetizzazione, le calamite non perdono nulla della loro forza, d'onde si deduce che i fluidi magnetici non passano da una sbarra all'altra. Riunendo insieme varie sbarre di acciaio calamitate, e disponendole a scaglioni, in modo che le estremità dell'una siano più innanzi di quelle dell'altra, e così successivamente, si ottengono dei *fasci* o *magazzini magnetici* dotati di molta forza (*Fig. 92, Tav. III*). Se le estremità delle sbarre si trovassero sovrapposte, le sbarre non tarderebbero a smagnetizzarsi.

Azione delle calamite su tutti i corpi. Fino a questi ultimi tempi si è creduto che la calamita agisse soltanto sul ferro, sull'acciajo, sul nichelio e sul cobalto; ma oggi è dimostrato in modo sicuro che essa opera su tutti i corpi. Coulomb, nel 1802, fu il primo a dubitare di questo fatto, avendo osservato che degli aghi di differenti materie facevano nel medesimo tempo un numero diverso di oscillazioni, secondo che si facevano oscillare liberamente, ovvero in mezzo al poli opposti di due grandi sbarre calamitate. Non di meno questo fatto fu in principio spiegato, ammettendo la presenza di piccole quantità di ferro nei corpi sottoposti all'esperienza. Fratanto Lebaillif osservava che il bismuta e l'antimonio esercitavano una forza repulsiva sull'ago calamitato; e faceva in tal modo nascere il dubbio che la calamita spiegasse azione, sebbene diversa, su tutti i corpi; vale a dire ne attraesse alcuni e ne respingesse altri. Le esperienze di Michele Faraday confermarono pienamente queste congetture, e stabilirono esattamente in che consisteva l'azione generale della calamita sui corpi. Esse mostrarono che il magnetismo esercita effettivamente la sua azione sopra i corpi reputati innanzi non magnetici, ma in due maniere diverse; vale a dire che alcuni di essi ridotti ad aghi mobili si dirigono secondo la linea dei poli della calamita, detta dal Faraday *linea assiale* o

di forza magnetica, ed altri si dispongono perpendicolarmente alla medesima secondo la linea che dicesi *equatoriale*. I primi furono chiamati da Faraday *corpi paramagnetici* o semplicemente *magnetici*; mentre i secondi furono da lui detti *diamagnetici*.

Sono fra i primi il ferro, il nichelio, il cobalto, il cromo, il manganese, il platino, il palladio, l'osmio. Anche le soluzioni di questi metalli si comportano nella stessa guisa. Situate in tubetti di vetro sospesi fra i poli di una forte calamita si dirigono tutte nella linea assiale. Sono invece diamagnetici i seguenti metalli: cioè il bismuto, l'antimonio, lo zinco, lo stagno, il mercurio, il rame, l'oro, e le seguenti materie cristallizzate; vale a dire il quarzo, il gesso, l'allume, il sal marino e lo spato d'Islanda. Agiscono pure nella stessa guisa di questi ultimi corpi, l'acqua, l'alcool, l'etere, gli acidi solforico, nitrico, idroclorico, le soluzioni alcaline, il fosforo, le resine, il vetro ec.

I corpi magnetici, oltre alla proprietà che presentano di disporsi nella linea assiale, si distinguono anche per un altro carattere, quello cioè di essere attratti da qualsiasi polo della calamita. I corpi diamagnetici invece sono respinti da ambedue i poli di questa; e la loro disposizione nella linea equatoriale, è una conseguenza di questa repulsione. Faraday riconobbe delle proprietà magnetiche e diamagnetiche anche ai gas. Egli osservò che l'ossigeno, il quale è magnetico alla temperatura ordinaria, diventa diamagnetico alla temperatura della fiamma. Bancalari, prima di Faraday, avea osservato che la fiamma di un lume o di una candela collocata tra i poli di una calamita, è da questi respinta. Secondo Faraday questo fatto dipenderebbe dal diamagnetismo che acquista l'ossigeno dell'aria ad un'alta temperatura.

Le esperienze relative al diamagnetismo dei corpi necessitano delle poderose calamite, quali si ottengono mediante il passaggio della corrente elettrica, e di cui tratteremo fra breve.

3.º Dell' Elettromagnetismo.

Quella parte della scienza dell'elettricità, che studia i rapporti esistenti fra le correnti elettriche e le calamite, prende il nome di *elettromagnetismo*.

Principj dell'elettromagnetismo. Il primo fatto che indicasse tali rapporti, fu quello, molto importante e fondamentale in vero, scoperto nel 1820 dal fisico danese Oersted. Ecco in cosa consiste. Se si distende orizzontalmente nella direzione del meridiano magnetico un filo di rame al di sopra di un ago calamitato mobile, non appena si fa passare per esso la corrente elettrica, l'ago è deviato dalla sua posizione di equilibrio, tende a prendere una direzione perpendicolare alla corrente, e tanto più si accosta alla medesima, quanto più essa è intensa.

In quanto al verso che prendono i poli dell'ago, la indicata deviazione va soggetta alle seguenti leggi.

1.º Se la corrente passa al di sopra dell'ago e va dal sud al nord, l'estremità nord dell'ago è deviata verso l'ovest.

2.º Se la corrente passa al di sotto dell'ago, sempre dal sud al nord, il polo nord è deviato all'est.

3.º Quando la corrente passa al di sopra dell'ago nella direzione di nord a sud, il polo nord si dirige verso l'est.

4.º Infine la deviazione avviene verso l'ovest quando la corrente si dirige dal nord al sud al di sotto dell'ago.

Per esprimere con facilità questi rapporti di posizione e di direzione, Ampère immaginò di rappresentare la corrente con un individuo, in cui la corrente sia diretta dai piedi alla testa e che abbia sempre la faccia rivolta verso l'ago. Personificando in tal guisa la corrente, si riconosce facilmente che nelle quattro posizioni sopra indicate, il polo nord dell'ago è sempre deviato verso la sua sinistra.

Abbiamo detto che la corrente tende a volgere l'ago perpendicolarmente ad essa, e che l'ago si avvicina tanto maggiormente a questa posizione quanto più intensa è la corrente o quanto più gli è vicina, ma che non raggiunge mai esat-

tamente tal posizione. Ciò dipende naturalmente dall'azione magnetica della terra che richiama costantemente l'ago nella posizione del meridiano magnetico. Per la qual cosa s'intende facilmente che se si adopererà un sistema di aghi astatico, questo si disporrà esattamente nella direzione della perpendicolare alla corrente, col polo nord a sinistra. Egli è pure evidente, che se si terrà fissa la calamita e si adopererà una corrente che passi entro un conduttore mobile, si vedrà questo disporsi perpendicolarmente all'asse della calamita, in modo che il suo polo nord resti a sinistra della corrente. Questa esperienza si fa accostando una verga calamitata qualunque al conduttore mobile della *Fig. 100, Tav. III.*

Biot e Savart cercarono la legge dell'azione della corrente su di una calamita a diverse distanze, e stabilirono che *l'intensità di quest'azione è in ragione inversa della semplice distanza.*

Galvanometri. Poco dopo la scoperta dell'Oersted, Schweigger in Germania pensò di applicare l'azione dell'elettricità sull'ago magnetico, a costatare la esistenza delle correnti, e a determinarne la direzione e l'intensità. Immaginò per tale oggetto quell'importante strumento, già da noi più volte rammentato col nome di *galvanometro*, ma che viene anche chiamato *moltiplicatore e reometro.*

Per intenderne il principio, consideriamo un ago calamitato sospeso ad un filo di seta senza torsione, ed intorno al quale si avvolga nel piano del meridiano magnetico un filo di rame che formi un circuito completo attorno all'ago nel verso della lunghezza del medesimo (*Tav. III, Fig. 101*). Quando questo filo è attraversato da una corrente, risulta dalle leggi di sopra enunciate, che in tutte le parti del circuito un osservatore, disteso sul filo nel verso della corrente indicata dalle frecce e rivolto verso l'ago *a b*, avrebbe la sua sinistra verso lo stesso punto dell'orizzonte, e che per conseguenza dappertutto l'azione della corrente tende a deviare l'ago nello stesso verso. Adunque le azioni dei quattro rami del circuito concorrono a deviare il polo nord in una sola direzione. Vedesi adunque chiaramente che coll'avvolgere il filo di rame intorno all'ago, nella stessa sua direzione, si è *moltiplicata*

l'azione della corrente. Perciò se in luogo d'un circuito solo se ne formano parecchi, l'azione si moltiplica viepiù e la deviazione dell'ago aumenta. Non di meno l'azione della corrente non si moltiplicherebbe indefinitamente col rinnovare le circonvoluzioni del filo, perchè sappiamo dalla teoria di Ohm che la resistenza che un filo conduttore oppone alla corrente aumenta colla sua lunghezza; e che l'effetto della medesima è tanto maggiore quanto più debole è la forza elettromotrice, o minore la resistenza del circuito interno. Perciò si fa il galvanometro a filo corto e grosso per le correnti termoelettriche, e a filo lungo e sottile per le idroelettriche. Ed infatti benchè da una parte vi sia vantaggio nell'allungare il filo, perchè in tal modo si ripetono i giri e le azioni sopra l'ago, nondimeno si giunge presto colle sorgenti termoelettriche ad un limite, in cui diventa maggiore la perdita per l'accresciuta resistenza prodotta dall'allungamento. Questo limite è assai più lontano adoprando correnti idroelettriche o voltiane, perchè in esse è assai maggiore la forza elettromotrice, come anche la resistenza del circuito interno.

Siccome l'azione direttrice della terra tende continuamente a mantenere l'ago nel meridiano magnetico, e quindi si oppone all'azione della corrente, così rendesi molto più sensibile l'effetto di quest'ultima adoprando un sistema di due aghi egualmente calamitati disposti parallelamente in modo che i poli contrarj si guardino, ed uniti invariabilmente insieme mediante un sottilissimo filo di ottone (*Tav. III, Fig. 102*). L'azione della terra, esercitandosi in senso contrario su i due aghi, diviene nulla sul loro insieme. Questo sistema dicesi *astatico*. Uno dei due aghi è posto in mezzo al circuito e l'altro al di sopra. Per tale disposizione le azioni delle correnti sui medesimi si sommano. Infatti l'azione del circuito completo tende giusta il verso della corrente indicato dalle frecce, a deviare verso l'ovest il polo nord dell'ago interno $a b$, e l'ago esterno $a' b'$ va soggetto all'azione di due correnti contrarie $m n$ e $p q$, delle quali la prima, essendo la più vicina, esercita un'azione prevalente; e siccome questa corrente passa al di sotto dell'ago $a' b'$, che è disposto nel verso contrario dell'ago $a b$, tende a deviarne il polo nord verso l'est ed il polo sud

verso l'ovest, vale a dire nello stesso verso del polo nord dell'altro ago. L'applicazione del sistema astatico al galvanometro devesi al nostro Nobili; ed è mediante essa che questo strumento ha acquistato una mirabile sensibilità. Non conviene però affatto distruggere l'azione della terra, rendendo completamente astatico il sistema, perocchè in tal caso l'ago si disporrebbe in direzione perpendicolare del filo per ogni corrente, quantunque debole, ed inoltre sarebbe indifferente in tutte le posizioni; mentre è necessario per cominciare un'esperienza che l'ago e i lati maggiori del rettangolo galvanometrico siano paralleli, per cui converrebbe allora ogni volta girare l'apparecchio per ricondurre l'ago in tal posizione. Si lascia perciò un po' più di magnetismo ad uno degli aghi, e ciò basta perchè il sistema, dopo essere stato deviato e che è cessata la corrente torni alla sua posizione iniziale. Sembra a prima vista che facendo il galvanometro con un solo ago debolmente calamitato si dovesse avere la stessa sensibilità che con un sistema astatico, ma è facile osservare che se per tal modo si ha meno forza direttrice da combattere, si ha eziandio minore azione da parte della corrente, perocchè la deviazione deriva e dalla forza della corrente e dalla intensità del magnetismo dell'ago.

Esposti così i principj fondamentali del galvanometro, diciamo esattamente come questo apparecchio è costruito. Esso è composto di un telajo verticale di ottone *D* (*Tav. IV, Fig. 107*), intorno al quale si avvolge un filo di rame coperto di seta in tutta la sua lunghezza per isolare i circuiti l'uno dall'altro. Al di sopra di questo telajo trovasi un quadrante orizzontale graduato, il cui zero corrisponde al diametro parallelo alla direzione del filo di rame sul telajo: in questo quadrante trovansi due graduazioni l'una alla destra l'altra alla sinistra dello zero, le quali si estendono soltanto fino a 90°. Per mezzo di un sostegno e di un filo di seta semplice è sospeso il sistema astatico, formato di due aghi da cucire *a b* ed *A*, posti l'uno al di sopra del quadrante, l'altro entro il circuito. Le aste ricurve *H* e *K* che comunicano al di sotto dell'apparecchio coi due estremi del circuito, sono destinate a ricevere i conduttori, i quali trasmettono la corrente che si vuole osservare.

Le viti di livello *C* servono a disporre l'apparecchio in posizione esattamente verticale, in modo che il filo di sospensione corrisponda precisamente al centro del circolo graduato. Finalmente un bottone *E* serve a trasmettere il movimento al telajo *D* ed al quadrante, che sono mobili intorno ad un asse verticale, in modo da disporre i fili del circuito nella direzione del meridiano magnetico senza spostare l'apparato. Per l'osservazione delle correnti idroelettriche il filo di rame deve essere di circa $\frac{1}{2}$ di millimetro di diametro e deve fare da 400 a 600 giri. Per le correnti termoelettriche il filo dev'essere assai più grosso e deve fare un piccol numero di giri.

Il galvanometro, quale è stato da noi descritto, è un apparato sensibilissimo che serve a costatare la presenza delle correnti e a indicarne la direzione, ma non ne fa conoscere la intensità. Due circostanze si oppongono a ciò che al di là di un certo limite le intensità delle correnti non sieno proporzionali agli angoli di deviazione. L'una si è che la forza magnetica del globo, la quale nell'agire per ricondurre il sistema degli aghi nel meridiano magnetico, fa equilibrio alla forza della corrente che ne l'allontana, non è già proporzionale agli angoli di deviazione, ma ai loro seni, per cui per delle deviazioni maggiori di 20°, la differenza dell'arco e del suo seno, fin allora poco sensibile, diventa apprezzabile, per cui non si può più prendere l'uno per l'altro. La seconda circostanza si è che non appena gli aghi si allontanano dal meridiano magnetico in cui stanno, mentre sono in riposo, parallelamente ai lati maggiori dei rettangoli del filo galvanometrico, la loro posizione rapporto a questi fili non è più la stessa, e quindi le correnti non debbono più agire su di essi nella stessa maniera. È facile vedere che se nella posizione normale, quella cioè in cui i fili sono paralleli agli aghi, la forza ha tutta la sua intensità, essa dal momento che v'ha deviazione dal meridiano non agisce più che per una componente tanto più piccola quanto più grande è l'angolo di deviazione. Perciò affinché un galvanometro possa servire a indicare la intensità delle correnti fa d'uopo costruire delle tavole in cui sieno indicate le intensità corrispondenti alle diverse deviazioni dell'ago.

Il metodo più semplice per formare queste tavole è quello del *moltiplicatore a due fili*.⁴ Si avvolgono simultaneamente sul telaio dell'apparato due fili di rame coperti egualmente di seta e identici in lunghezza e in diametro; poi scegliendo una sorgente costante di elettricità dinamica, ma assai debole, si fa passare la corrente in uno dei fili, e così ottiensì una certa deviazione, per esempio di 5 gradi. In seguito, per mezzo di una sorgente identica alla prima, si fa passare nello stesso tempo in ciascun filo una corrente di eguale intensità, e si ottiene allora una certa deviazione, per esempio di 10 gradi, la quale è dovuta all'azione simultanea delle due correnti, ossia ad una corrente d'intensità doppia della prima. Facendo iudi passare in uno dei due fili la corrente capace di produrre da sola la deviazione di 10° e nell'altro una delle correnti che ha prodotto la deviazione di 5°, ossia in complesso una corrente tripla della prima, si ottiene una deviazione di 15°. Infine facendo passare simultaneamente in ciascuno dei due fili una corrente capace di dare la deviazione di 10°, se ne ottiene una di 20°. Adunque sino a 20° le deviazioni sono proporzionali alle intensità della corrente. Oltre questo limite esse crescono in un rapporto minore; ma col medesimo processo si continua a determinare di mano in mano le deviazioni corrispondenti ad intensità conosciute. Qualche volta nel galvanometro sopra uno stesso telaio si applicano due fili in guisa che formino due matasse distinte. Allora si possono nello stesso tempo far passare due correnti per opposte direzioni onde conoscere la loro differenza, ed il galvanometro in questo caso prende il nome di *differenziale*.

Vi sono degl'istrumenti mercè i quali si può direttamente misurare le intensità delle correnti, senza ricorrere all'uso delle tavole descritte pel galvanometro. Sono questi la *bussola dei seni* e la *bussola delle tangenti*. La *bussola dei seni*, la cui invenzione devesi a Pouillet differisce dal galvanometro descritto, per ciò che il filo di rame pel quale passa la corrente, fa soltanto pochissimi giri, e qualche volta anche un solo intorno all'ago calamitato; inoltre il telaio sul quale si avvolge il filo consiste in un cerchio di legno verticale appositamente scanalato nella periferia, e mobile intorno ad un asse

pure verticale, su di un cerchio orizzontale fisso, che serve a indicare lo spostamento impresso al telajo. L'ago calamitato trovasi sospeso entro una piccola scatola nel centro del cerchio verticale (*Tav. IV, Fig. 108*). Ciò posto, dopo che il circuito galvanometrico è stato diretto nel meridiano magnetico, vale a dire nello stesso piano dell'ago, si fa passare la corrente. Quando l'ago è deviato, si fa rotare il circuito fino al punto di farlo coincidere col piano verticale che passa per l'ago stesso. In questo caso, avendo l'ago conservato anche dopo la deviazione, la stessa posizione rispetto ai fili del moltiplicatore, e in conseguenza rispetto alla corrente che agisce su di esso, l'ampiezza della sua deviazione sarà proporzionale alla intensità della corrente. Le forze tra le quali si stabilisce l'equilibrio, e che per conseguenza sono eguali, sono da un lato quella della corrente, dall'altra la forza direttrice della terra che tende a ricondurre l'ago al meridiano; da cui la prima lo allontana. Ora essendo questa proporzionale al seno dell'angolo di deviazione, ne succede che l'altra, vale a dire, l'intensità della corrente lo è pure. L'angolo di deviazione si misura sul cerchio orizzontale dell'apparato. La *bussola delle tangenti* è formata da un gran cerchio di lamina di rame che si ripiega nella parte inferiore in due appendici che si fanno comunicare coi poli della pila mercè due pozetti pieni di mercurio (*Tav. IV, Fig. 109*). Questo cerchio va collocato nel meridiano magnetico, e nel suo centro trovasi bilicato sopra una punta, o sospeso ad un filo di bozzolo un ago di declinazione, che dev'essere molto corto rispetto al diametro del cerchio, ed affinché i gradi di deviamiento possano essere molto più grandi, l'ago porta in croce un indice leggiero assai più lungo. Ciò posto, si dimostra col calcolo, che le intensità delle correnti sono proporzionali alle tangenti degli archi di deviazione da esse generati. Questa proporzionalità è tanto più esatta quanto più grande è il raggio del cerchio rispetto alla lunghezza dell'ago.

Azione reciproca tra le calamite e i selenoidi. L'azione delle calamite sulle correnti può rendersi molto più manifesta piegando il filo conduttore ad elica, vale a dire impiegando un *cilindro elettrodinamico*. Già abbiamo dato la teoria di questo

apparato (Vedi pag. 157), e abbiamo detto che esso altro non è che un sistema di conduttori circolari paralleli, percorsi tutti nello stesso verso dalla corrente elettrica, il qual sistema ricevè da Ampère il nome di *selenoide* (*Tav. III, Fig. 86*). Si sospende per le sue estremità all'apparato di Ampère (*Tav. III, Fig. 100*), appoggiandolo sui piccoli recipienti che terminano le aste sporgenti dalle due colonne del medesimo. Se mentre è percorso dalla corrente gli si avvicina o sopra o sotto una forte sbarra calamitata tenuta orizzontale, si vede che il medesimo si dispone col suo asse parallelamente a questa. Ciò non può avvenire altrimenti. Difatti sappiamo che le correnti circolari si dispongono perpendicolarmente alle calamite; quindi l'asse comune di un sistema di correnti circolari deve necessariamente essere parallelo alle calamite medesime. Perciò le estremità del selenoide vengono a rivolgersi verso i poli della sbarra calamitata; ma se s'inverte la corrente s'invertono anche le estremità che guardano questi poli, vale a dire che il cilindro fa una semirivoluzione per disporsi in direzione contraria alla primitiva, ma sempre parallelamente alla calamita. Se poi si accosta uno dei poli della medesima sbarra calamitata ad una delle estremità del cilindro, si vede che questo è attratto, se l'estremità del selenoide a cui si è appressata la sbarra è quella che dianzi guardava il polo che ora si avvicina, mentre all'opposto è respinto se è l'estremità opposta. Da ciò scorgesi che i selenoidi agiscono rispetto alle calamite, come se fossero essi stessi calamite: laonde chiamansi poli le loro estremità; e si è detto polo nord del cilindro quello che è attratto dal polo sud della calamita e viceversa.

Se si tiene in mano un cilindro elettrodinamico percorso dalla corrente elettrica, e si accosta ad un ago magnetico mobile, si vedono i suoi poli attratti o respinti a seconda delle estremità del cilindro che gli si appressano.

Azione direttrice della terra sulle correnti. Dopo quanto abbiamo detto intorno all'azione magnetica della terra sarà facile intendere come essa debba agire sulle correnti. Ampère fu il primo che dimostrò quest'azione coll'esperienza servendosi di un conduttore circolare o rettangolare simile a quello

della *Fig. 110, Tav. IV*. Si dispone da prima questo conduttore nel piano del meridiano magnetico, e quindi si fa passare attraverso di esso una corrente che si dirige nel modo che nella figura viene indicato dalle frecce. Tosto il conduttore comincia a deviare, oscilla, ed infine si ferma in un piano perpendicolare al meridiano magnetico. Si osserva inoltre che la corrente è diretta dall'est all'ovest nella parte inferiore del circuito, ossia che un'osservatore disteso sulla corrente e rivolto verso il suolo avrebbe alla sua sinistra il polo australe della terra. Invertendo la direzione della corrente, il circuito mobile compie una mezza rotazione e si ferma parimente in un piano perpendicolare al meridiano magnetico; in modo da aver sempre la corrente diretta da est ad ovest nella sua parte inferiore. Lo stesso fatto mostrasi con maggior semplicità per mezzo del così detto *anello galleggiante* di *De la Rive* consistente in due leggiere lamine, l'una di zinco e l'altra di rame, fissate a un disco di sughero e congiunte con un filo di rame a forma di cerchio, che si solleva verticalmente dall'altra parte del disco (*Tav. III, Fig. 106*). Si fa galleggiare questo semplicissimo apparato entro un vaso contenente dell'acqua acidulata, in modo che le due lamine vi restino immerse. In questa coppia si produrrà la corrente, la quale andrà dal rame al zinco attraverso il cerchio metallico. Abbandonato a sè stesso quest'apparato si fissa dopo breve tempo in modo che il piano del cerchio verticale si trovi perpendicolare a quello del meridiano magnetico, e colla corrente diretta nel solito verso. Onde accrescere gli effetti di questo conduttore si possono raddoppiare i fili, come si fa nel circuito del galvanometro.

A motivo di quest'azione direttrice della terra sulle correnti è necessario nella maggior parte delle esperienze sulle correnti, sottrarle a quest'azione. Perciò si dà al circuito mobile una forma simmetrica rispetto al suo asse di rotazione, in modo che le azioni direttrici della terra sulle due parti del circuito tendano a farle girare per versi contrarj e quindi si distruggano. A questa condizione soddisfa il circuito rappresentato nella *Figura 111 Tav. IV*. Alle correnti che lo percorrono si dà perciò il nome di *correnti astatiche*. L'azione della

terra sulle correnti può rendersi molto maggiore impiegando un *cilindro elettrodinamico* simile a quello della Figura 86 Tav. III, sospeso per le sue estremità all'apparato di Ampère (Tav. III, Fig. 100). Prima di far passare la corrente, si dispone il cilindro fuori del meridiano magnetico; e non appena si fa traversare da una corrente assai energica, si vede muoversi e quindi fermarsi in una direzione tale che il suo asse è parallelo alla direzione dell'ago di declinazione, ed in modo che nelle parti inferiori delle correnti circolari componenti il selenoide la corrente sia diretta dall'est all'ovest. Invertendo la direzione della corrente nel cilindro, il medesimo fa una semirivoluzione e si dispone di nuovo col suo asse nel piano del meridiano magnetico, ma in modo che la sua estremità che prima era volta al nord ora guardi il sud. Da ciò apparisce con evidenza che l'azione direttrice della terra sui selenoidi è una conseguenza di quella che essa esercita sulle correnti circolari.

Vedesi anche chiaramente che un selenoide si comporta rispetto alla terra alla maniera di un ago calamitato. Perciò alcuni fisici chiamano poli le estremità del cilindro elettrodinamico, e danno il nome di *polo australe* a quella estremità che guarda il polo nord della terra, e quello di *polo boreale* all'altra che si volge al sud. Se il cilindro elettrodinamico fosse mobile in un piano verticale e intorno ad un asse perpendicolare al meridiano magnetico lo vedremmo disporsi parallelamente all'ago d'inclinazione.

Teoria di Ampère sul magnetismo. Dalla mirabile analogia che esiste tra i fenomeni elettrodinamici ed i magnetici, Ampère seppe dedurre un'ingegnosa teoria del magnetismo, nella quale i fenomeni di questo agente si comprendono nella serie degli elettrodinamici.

La teoria di Ampère è fondata sopra i due seguenti principj:

1.° Ogni molecola di una calamita viene considerata come circondata da una corrente elettrica che incessantemente si muove sia all'interno sia all'esterno della molecola, formando così un circuito chiuso, rientrante in sè stesso e di forma circolare. Considerando tante linee di molecole parallele all'asse della calamita, si hanno tanti selenoidi elementari; ed è chia-

ro che tutti i circuiti molecolari contenuti in una stessa sezione perpendicolare all'asse possono essere rappresentati da un solo circuito *resultante*, o che in ultima analisi l'intera calamita può riguardarsi come un insieme di correnti circolari tutte dirette nello stesso verso e contenute in piani paralleli fra loro, perpendicolari all'asse della calamita, e aventi sopra quest'asse i loro centri. Vedesi adunque facilmente che nell'ipotesi di Ampère, una calamita può essere rappresentata da un cilindro elettrodinamico percorso dalla corrente.

2.^o La terra si considera circondata da tante correnti parallele all'equatore magnetico, e dirette dall'est all'ovest. Anche rispetto alla terra possono suppersi le sue molecole circondate da tante correnti circolari chiuse, tutte parallele all'equatore magnetico; ma in ogni luogo si potrà sempre concepire che l'insieme delle azioni di tutte queste correnti si riduca all'azione di una sola corrente ipotetica, alla quale si dovrà in conseguenza attribuire un'intensità ed una posizione convenienti per rappresentare tutti gli effetti del magnetismo terrestre in quel punto. La posizione di questa corrente risultante trovasi in ogni luogo in un piano perpendicolare all'ago d'inclinazione: all'equatore magnetico essa trovasi in un piano verticale.

Ammessi questi due principj, la teoria di Ampère ci spiega nel modo il più soddisfacente tutti i fenomeni che abbiamo studiato intorno all'azione delle calamite e della terra sulle correnti. I fenomeni di attrazione e di repulsione osservati fra le calamite e le correnti rettilinee, fra le calamite e i selenoidi, fra le calamite o le calamite, tra la terra o le calamite, e tra la terra e le correnti dipendono tutti da quel principio fondamentale, *che le correnti dirette nello stesso verso si attraggono, e quelle dirette per versi contrarj si respingono* (V. pag. 152). Quando osserviamo attrazione tra i poli di due calamite o di due selenoidi o di una calamita e di un selenoide, ciò significa che in quella data posizione, le correnti circolano nello stesso verso; mentre se ha luogo la repulsione, le correnti circolano per contrarie direzioni.

Un ago magnetico si dispone perpendicolare ad una corrente rettilinea, perchè le correnti circolari che lo percorrono

tendono a disporsi colla loro parte più prossima nella stessa direzione della corrente medesima.

Il cilindro elettrodinamico, l'apparecchio galleggiante di De la Rive, il conduttore mobile circolare, tutti si dispongono in modo che nella loro parte inferiore più prossima alla terra le correnti vadano dall'est all'ovest, cioè parallelamente e nello stesso verso della corrente della terra. Parimente, la direzione di una calamita rispetto alla terra, è tale che nella sua parte inferiore le correnti che la percorrono sono parallele ed hanno lo stesso verso di quelle del globo terrestre, vale a dire sono dirette dall'est all'ovest. Perciò il polo di una calamita che guarda il polo nord della terra, è quello per cui il lato ascendente della corrente si trova alla destra di un osservatore rivolta colla faccia verso il polo stesso della calamita. Leopoldo Nobili, fino dal 1822, immaginò un semplice e bello apparecchio, destinato a mostrare come agisca per via di correnti il magnetismo terrestre. Consiste in un globo di legno rivestito all'intorno di un filo di rame coperto di seta, che fa i suoi giri nella direzione dei paralleli terrestri. Quando si pongono i capi di questo filo in comunicazione coi poli di una pila, si vede il globo agire sopra un piccolo ago calamitato e su dei piccoli cilindri elettrodinamici, e dirigerli nel modo stesso, e colle medesime leggi che abbiamo scoperte per l'azione magnetica della terra. In quanto all'origine delle correnti terrestri, varie sono le opinioni; ma la maggior parte dei fisici le considerano di natura termoelettrica, vale a dire prodotte dall'azione del calor solare sopra gli strati eterogenei che costituiscono la corteccia del globo.

Magnetismo dei corpi percorsi dalla corrente elettrica. Un fatto che serve di stabile appoggio alla teoria di Ampère, si è quello del magnetismo che la corrente elettrica è capace di produrre. Arago fu il primo ad osservare che un filo metallico, come per esempio di rame o di platino, quando è percorso dalla corrente elettrica, diviene capace di attrarre la limatura di ferro, e perde questa proprietà nell'istante in cui cessa il suo passaggio. Questo fatto può rendersi più evidente, rendendo più energica l'azione della corrente col di-

sporne il filo conduttore a spirale piana. Vedesi allora che la limatura vi si attacca a pennacchi come fa attorno ai poli di una calamita.

Allorquando si dispone un cilindro di ferro dolce perpendicolarmente al filo percorso dalla corrente, esso si magnetizza nell'istante ed acquista il polo nord all'estremità ch'è posta a sinistra della corrente. L'azione adunque che ha la corrente di magnetizzare dovrà esercitarsi colla maggiore intensità allorchando si circondino i cilindri di ferro o di acciaio, con tante correnti circolari, parallele tra loro, e perpendicolari all'asse dei cilindri. Ciò si otterrà facilmente costruendo un cilindro elettrodinamico analogo a quelli di cui abbiamo dato la teoria, e introducendo nel suo interno il cilindro o l'ago di ferro o di acciaio che vuolsi magnetizzare. Dobbiamo per altro osservare che l'impiego delle correnti elettriche, ottimo per magnetizzare il ferro dolce, che possiede una debole forza coercitiva, è insufficiente ad imprimere un magnetismo potente a degli aghi di acciaio, specialmente se fortemente temperati, essendo difficile distruggere completamente la grande loro forza coercitiva.

Nell'uso dei cilindri elettrodinamici o eliche è necessario stabilire una importante distinzione. Allorquando nella parte superiore del cilindro il filo si avvolge da sinistra a destra, si ha un'*elica destrorso* (*Tav. IV, Fig. 112*), mentre se nella medesima parte del cilindro si avvolge da destra a sinistra si ha un'*elica sinistrorso* (*Tav. IV, Fig. 113*). Nella prima elica il polo sud della barra che si magnetizza, formasi sempre all'estremità per cui entra la corrente; nell'altra formasi all'estremo opposto.

Nella teoria di Ampère spiegasi il fatto della magnetizzazione, ammettendo che nei corpi magnetici non calamitati le correnti vi esistano, ma dirette indistintamente in tutti i possibili versi, di modo che l'insieme delle loro azioni sia nullo. L'azione di una corrente obbliga le correnti molecolari supposte esistenti nei corpi magnetici a disporsi in un ordine tale, che nel corpo magnetico che si calamita divengano parallele tra loro e dirette nello stesso verso della corrente magnetizzante. Nel ferro dolce queste correnti ritornano nello

stato di primitiva confusione allorchè cessa la corrente, e perciò allora non si mostra più magnetizzato; nell'acciajo invece una volta disposte le correnti in tanti selenoidi, conservano questa disposizione anche cessata l'azione che l'ha prodotta.

Sulla proprietà che ha il ferro dolce di magnetizzarsi *temporariamente* sotto l'influenza di una corrente elettrica, è fondata la costruzione delle *calamite temporarie*, dette anche *elettro-magneti* o *elettro-calamite*, l'importanza delle quali è oggidì divenuta grandissima. Le sbarre di ferro dolce destinate a costituire queste specie di calamite, si fanno ordinariamente cilindriche, e si dispongono a ferro di cavallo, come mostra la Figura 114, Tav. IV; e su ciascuno de' loro rami si avvolge con un gran numero di giri il filo di rame coperto di seta, che è destinato al passaggio della corrente. Più spesso questo filo non è avvolto direttamente su i due rami del cilindro; ma lo è invece su due rocchetti *A* e *B* di legno o di avorio che circondano i due rami dell'elettro-magnete. Il filo deve avvolgersi nello stesso verso sui due rocchetti, affinchè le due estremità della sbarra siano poli di nome contrario. Se il ferro che costituisce l'elettromagnete non è perfettamente puro, conserva anche dopo il passaggio della corrente qualche traccia di magnetismo.

Le elettrocalamite sono estremamente potenti. Applicando a queste calamite un'ancora di ferro dolce, si può far loro sostenere anche mediante una o due coppie di Bunsen, dei pesi di più di mille chilogrammi. Mentre sono calamitate possono servire a magnetizzare delle grosse verghe di acciaio per avere potenti calamite artificiali. Egli è mediante queste calamite che sono state eseguite tutte le esperienze relative al diamagnetismo dei corpi e dello quali abbiamo già fatto parola.

Sono state eseguite molte esperienze per determinare le condizioni le più favorevoli allo svolgimento di un forte magnetismo nelle calamite temporarie. I risultati che sembrano meglio provati sono i seguenti. Un cilindro vuoto di ferro dolce, comunque sottile sia la sua parete, prende sotto l'influenza della corrente di un'elica la stessa forza magnetica

di un cilindro simile, ma pieno, il che deve considerarsi come una prova che il magnetismo che si produce nelle elettrocalamite va tutto a risiedere alla loro superficie, e che la loro massa non esercita quasi alcuna influenza su di esso. Questo risultato deveasi alle esperienze di Haldat. Ad eguaglianza d'intensità nella corrente sembra che la potenza magnetica delle calamite temporanee sia proporzionale al loro diametro. Il Prof. Cecchi delle Scuole Pie di Firenze, ha trovato assai vantaggio a dare un diametro assai più grande alle estremità della sbarra, che corrispondono ai poli.

Vi sono state tra i fisici molte controversie a fine di stabilire se la lunghezza dei rami delle elettro-calamite, aveva influenza sul loro potere. Lenz ed Iacobi sostengono che ad eguaglianza di condizioni la loro lunghezza non ha veruna influenza, mentre altri pretendono che la potenza elettromagnetica aumenti con la lunghezza delle sbarre. Nicklès ha costatato che la proposizione di Iacobi e Lenz è vera soltanto per le calamite temporarie a ferro di cavallo, i rami delle quali sono fornite di due eliche disposte in direzione opposta. Se invece le due eliche hanno lo stesso verso o se il ferro di cavallo ha una sola elica, allora allungando le sbarre si aumenta il potere dell'elettro-magnete, e ciò forse perchè coll'allungare la sbarra calamitata si allontanano i poli di nome contrario, e si diminuiscono gli effetti di neutralizzazione che questi poli possono esercitare tra loro. Questa influenza dell'allungamento della sbarra sulla sua forza magnetica, ha per altro un limite, oltre il quale l'attrazione diminuisce a misura che aumenta la lunghezza. In quanto all'influenza della intensità della corrente e della lunghezza del filo conduttore, vale a dire del numero dei suoi giri, Iacobi e Lenz credono di poter dedurre dalle loro esperienze:

1.° Che la potenza attrattiva delle calamite temporarie è proporzionale ai quadrati delle intensità delle correnti; cosicchè una corrente quadrupla dà una forza doppia.

2.° Che il diametro e la lunghezza del filo conduttore debbono cangiare a seconda della natura della pila che si adopra; vale a dire che se la pila è di pochi elementi a larga superficie, il filo dev'esser grosso e di poca lunghezza; men-

tre se la pila abbia una grande tensione il filo dev'esser lungo e sottile. Secondo i rammentati fisici il massimo di forza si avrebbe quando la resistenza del filo è eguale a quella della pila.

Applicazioni dell'elettromagnetismo.

Motori elettromagnetici. I fisici poco dopo la scoperta degli elettromagneti, vedendo la forza di queste calamite rinascente a loro piacere, pronta a sparire colla interruzione del circuito e capace di trasformarsi, a nostro talento, di attrazione in ripulsione, pensarono ad applicarla come forza motrice, ed inventarono diverse macchine o motori elettromagnetici, mediante i quali si tentò di sostituire la forza della elettricità a quella del vapore. Iacobi, Botto, Dal Negro sono i fisici che hanno realizzato pei primi, su modelli abbastanza grandi, il pensiero di questa applicazione. Iacobi riuscì a far navigare sulla Neva una nave carica di dodici persone, mercè l'uso di questa forza. Moltissimi sono i modelli di macchine elettromotrici che potrebbero descriversi, ma ne descriveremo soltanto due dei più semplici, a fine di render noto il principio comune al maggior numero di coteste macchine. *A* e *B* (*Tav. IV, Fig. 115*) sono due cilindri di ferro dolce coperti di filo di rame vestito di seta ed avvolto a replicati giri. Sono dessi congiunti nelle parti superiori da una verga di ferro dolce, in guisa da formare una vera calamita temporaria, la quale è fissata su due zoccoli di legno. Nell'interno di questa ve ne ha un'altra simile *a b*, mobile attorno di un asse che passa nel mezzo de' suoi rami. I capi del filo della prima di queste calamite comunicano coi bottoni metallici *x z*, e quelli della seconda con due lastre metalliche *n n'* del pezzo *C*, destinato ad invertire periodicamente la direzione della corrente nell'elettromagnete mobile, e che perciò dicesi commutatore, e che è rappresentato più in grande nella Figura 116. Consiste questo in un disco di avorio coperto da due archi metallici *n* ed *n'*, tra i quali restano due intervalli di avorio. Sull'orlo del disco premono due molle di ottone *m* ed *m'*, le quali comunicano re-

spettivamente coi bottoni y e z . Se dunque il polo positivo di una pila di tre o quattro coppie alla Bunsen comunichi col bottone x ed il negativo coll'altro y , la corrente dopo di aver girato pel filo dell'elettromagnete $A B$, giunta al bottone z , andrà per la molla al pezzo corrispondente del commutatore, quindi entrerà in uno dei capi del filo dell'elettromagnete $a b$, ed uscendo per l'altro giungerà, passando pel commutatore, al bottone y , mercè la molla corrispondente, e quindi all'altro polo della pila. Ne segue che la calamita temporaria $a b$ dovrà rotare in mezzo all'altra $A B$ fino a che i poli di nome contrario non sieno venuti di contro; ma in questo punto, avendo il commutatore ruotato esso pure, le molle toccano i due intervalli di avorio del medesimo, e quindi l'azione cessa per l'interrotto passaggio della corrente. Ma il movimento della calamita temporaria $a b$ non può cessare a motivo dell'acquistata velocità; perciò le molle, oltrepassati i due intervalli di avorio, toccano di nuovo i pezzi metallici, ma m che toccava n' toccherà n , ed m' toccherà n' , onde la corrente passando pei fili dell'elettromagnete $a b$, per opposta direzione, ne invertirà i poli; e così il polo che prima era attratto verrà ora respinto, e viceversa sarà attratto quello che prima era respinto; talchè così proseguendo si avrà una continua rotazione. Questo moto di rotazione orizzontale può trasformarsi in moto di rotazione verticale, mediante due ruote dentate ed una fune perpetua la quale faccia ruotare un asse a gomito s con un volano v . Unendo a questo asse l'asta k di una tromba, si giunge ad imprimere a questa un moto alternativo capace di metterla in azione.

Nell'elettromotore di Froment, il conflitto ha luogo tra elettromagneti e pezzi di ferro dolce opportunamente collocati. La *Fig. 117, Tav. IV* rappresenta la macchina di Froment. La corrente entra in G , ascende per una lamina metallica ed elastica a che tocca successivamente ad intermittenza tutti i denti di una ruota metallica m , come si vede in H a destra della figura: dalla ruota m la corrente passa in due rocchetti A e B avvolti attorno a due cilindri di ferro dolce che formano le elettromagneti, indi esce per I e torna alla pila. Tra le due elettromagneti trovasi un asse orizzontale termi-

nato alle sue estremità da due verricelli di ferro dolce $C C$, formati di otto braccia che sono successivamente attratte dalle due calamite temporarie. Per mezzo del commutatore m , si interrompe la corrente nel momento in cui due braccia opposte dei verricelli giungono in presenza delle elettro-calamite, ed allora il movimento continua perchè i verricelli fanno l'ufficio di volani, fino a che tornando a passare la corrente vengono attratte le braccia susseguenti, e così di continuo. Anche qui si può trasmettere il moto alle aste di trombe, o di altre macchine. Basta fissare all'asse dei verricelli una manovella, che per mezzo della biella D trasmetta il moto ad un bilanciere ec.

Fino ad oggi i motori elettromagnetici sono poco adoprati nella industria. Varie considerazioni fanno dubitare che la forza elettromagnetica non possa vantaggiosamente rimpiazzare quella del vapore. In primo luogo la spesa necessaria a ciò che una macchina a vapore produca un determinato effetto è considerabilmente minore di quella che fa d'uopo impiegare in una macchina elettromagnetica a fine di ottenere lo stesso risultato; e ciò a motivo del costo assai minore del carbone bruciato nella prima, rispetto allo zinco ed agli acidi consumati nella seconda. Inoltre è da osservarsi che mentre nelle macchine a vapore si può dare una grande estensione all'aumento di velocità del loro movimento rotatorio, nei motori elettromagnetici invece non si può mai superare un certo limite di velocità, anche impiegando poderose correnti, e ciò a motivo del tempo apprezzabile che si richiede acciò il ferro dolce acquisti il massimo del magnetismo che può essergli comunicato da una data corrente, e perchè lo perda dopo l'interruzione del circuito.

L'uso dell'elettromagnetismo come motore riesce però utile nel caso di un lavoro discontinuo che non esiga forze e velocità troppo grandi. Il cavalier Bonelli di Torino lo ha applicato con un grande successo ai telaj alla Jacquart. In Francia si è ultimamente proposto di applicarlo ad aumentare l'attrito delle ruote motrici colle rotaje, in quelle circostanze in cui ciò può riuscire di vantaggio alla locomozione. Ognun sa che la condizione necessaria a ciò che la locomotiva metta in movimento

il treno è l'aderenza delle sue ruote motrici sulle rotaje; senza di che, come avviene talora, le ruote girerebbero intorno al proprio asse e il convoglio non si muoverebbe. Laonde avviene sulle strade ferrate di una certa inclinazione che diminuendo l'aderenza, diminuisce pure la forza motrice della macchina; e poichè l'aderenza non può essere accresciuta che coll'aumento del peso della locomotiva, ne viene d'altra parte un aumento nella resistenza che non può infine esser vinto se non da un maggior dispendio di vapore. Ora trasformando le ruote in elettrocalamite, i cui poli sieno sempre in contatto delle rotaje, si giunge ad aumentare l'attrito senza bisogno di accrescere il peso della locomotiva. Un commutatore convenientemente disposto ha l'ufficio di comunicare il magnetismo temporario soltanto a quella porzione della ruota che è in contatto colla rotaja e pel solo tempo del contatto.

Telegrafi elettrici. L'idea di applicare l'elettricità e i suoi effetti alla trasmissione dei segnali telegrafici non è tanto recente. Nell'ultima metà del passato secolo, Lesage, Lamond, Cavallo, Betancourt ed altri immaginarono di adoperare la scarica elettrica della bottiglia di Leida o della comune macchina elettrica, onde per mezzo di fili metallici isolati propagare da un punto all'altro i movimenti prodotti dalla scarica stessa. Sommering propose d'impiegare per segnali gli effetti di decomposizione della corrente elettrica sull'acqua. Tutti questi saggi però, prima della grande scoperta di Oersted, furono e dovevano essere di nessun pratico valore. La telegrafia elettrica ebbe nascimento insieme all'elettromagnetismo. Dopo la scoperta di Oersted la storia della telegrafia elettrica si compone di numerosi tentativi fatti da varj fisici, onde più convenientemente applicare l'elettromagnetismo alla trasmissione dei segnali; ma a vero dire Wheatstone e Cooke in Inghilterra, e Morse in America furono i primi che diedero un'utilità pratica alla telegrafia elettrica, e perciò debbono essere considerati come i veri inventori di quest'arte mirabilissima.

Si riducono a tre i sistemi, o le disposizioni delle macchine telegrafiche che oggi si adoprano. Il principio scientifico generale di queste varie disposizioni delle macchine

telegrafiche è la proprietà della corrente elettrica di deviare l'ago calamitato e di convertire in calamita, nel tempo del suo passaggio, un cilindro di ferro dolce circondato da una spirale metallica. Diciamo pertanto come in virtù di questo principio si riesca a trasmettere per mezzo della corrente un dato movimento a centinaia e migliaia di leghe di distanza; ed anche a masse relativamente considerevoli. Si abbia in *a* una pila di Bunsen ed in *b* un'elettrocalamita (*Tab. V, Fig. 118*). Uno dei capi del filo di questa comunichi col filo *p* della pila; l'altro capo possa successivamente unirsi e distaccarsi dalla pila. Ne seguirà che l'elettrocalamita acquisterà successivamente la sua potenza e successivamente la perderà. Ciò potrà farsi 2, 3, 10 volte in un secondo, se in un secondo si potranno stabilire 2, 3, 10 contatti colla pila. In presenza dell'elettrocalamita si trovi un pezzo di ferro dolce, che faccia corpo con una leva di legno *d l* mobile essa pure intorno all'asse *d*. Una piccola molla *r* la tiri contro l'ostacolo *s*, o le permetta di andare fino all'ostacolo *s'*, secondo che *v* ha intermittenza o passaggio di corrente. Nel suo maggiore allontanamento il ferro *c* si trovi per esempio ad un millimetro dai poli dell'elettrocalamita, e nel suo maggior ravvicinamento in *s'*, non giunga a perfetto contatto di essi onde non vi contragga una certa aderenza che potrebbe nuocere alla rapidità dei movimenti della leva. Nel passaggio della corrente, la leva anderà innanzi e percuoterà in *s'*; mentre quando la corrente s'interromperà anderà a battere in *s* per l'azione della molla; e così verrà a prodursi un movimento oscillatorio, che potrà ripetersi tante volte quante la corrente s'interrompe e si ristabilisce. Le dimensioni della leva potranno variare al cangiare della forza elettromotrice o delle dimensioni della elettrocalamita. In quanto alla rapidità del movimento oscillatorio, essa dipende in parte dalle masse che sono in giuoco, ma specialmente dalla massa e qualità del ferro dolce, e dalla robustezza della molla. Difatti se il ferro della elettrocalamita ha una certa forza coercitiva, non è difficile di vederlo agire anche dopo il distacco, e allora la forza della molla diviene insufficiente. Il caso contrario avverrebbe se la molla fosse troppo forte rispetto all'azione elettromagnetica. Tenendo conto di queste circostanze, si giunge a fare degli

apparecchi in cui il movimento oscillatorio della leva si ripete 5, 10 ed anche 20 volte per ogni secondo. Onde il movimento della leva sia regolare come quello di un pendolo farà d'uopo che l'apparecchio sia disposto in maniera che le comunicazioni della pila siano stabilite e rotte con una grande regolarità, ed uno dei mezzi più sicuri per giungere a questo risultato si è quello d'impiegare una ruota simile a quella della *Figura 119, Tav. IV*. Consiste in una ruota dentata metallica, i cui denti metallici sono separati da degl' intervalli di legno. I fili dell'elettrocalamita pongonsi in comunicazione coll'asse metallico della ruota, mentre collo stesso asse comunica un filo solo della pila; l'altro essendo posto per mezzo di una linguetta metallica al di sopra della periferia della ruota. Se la ruota avrà venti denti metallici e farà un giro per secondo, si stabiliranno 20 comunicazioni in questo breve spazio di tempo.

Ecco adunque indicato il modo di ottenere colla corrente un movimento energico, rapido e regolare. Quanto alla rapidità con cui da un dato luogo potrà questo movimento prodursi in distanza, non possiamo fare altro che ripetere ciò che dicemmo intorno alla velocità di propagazione della corrente. Questa è differente a norma della natura del metallo che le serve di conduttore; ma anche nella ipotesi della minima velocità, la periferia della terra, che è di 40 mila chilometri, sarebbe sempre percorsa in meno di mezzo minuto secondo. Perciò per le distanze massime, cui possono estendersi le nostre comunicazioni, queste risultano istantanee, e quindi anche la trasmissione de' movimenti oscillatori di cui abbiamo sopra discorso. Esaminiamo adesso fino a qual distanza possono questi movimenti comunicarsi. Noi abbiamo già accennate le leggi colle quali l'intensità della corrente diminuisce a misura che la lunghezza del circuito aumenta. Resulta da queste leggi che un filo di rame di 3 millimetri di diametro indebolisce la corrente 900 volte meno che un filo della stessa lunghezza e dello stesso metallo di $\frac{1}{75}$ di millimetro di diametro; per conseguenza 900000 metri, o 225 leghe del primo, non l'indeboliscono meno di 1000 metri del secondo; ma l'esperienza dimostra che un circuito formato di 1000 metri di questo secondo filo produce sempre degli effetti molto ener-

gici, anche con una pila debole e con una piccola elettrocalamita; dunque un circuito di 225 leghe di un filo di 3 millimetri di diametro, darà pure degli effetti energici anche con deboli pile e con piccole elettrocalamite. Dunque se tra due città distanti fra loro 112 leghe e $\frac{1}{2}$, si distendono due fili di rame di tre millimetri di diametro, i quali non si tocchino nel loro corso; che nella seconda città facciano capo alle due estremità del filo di una elettrocalamita e nella prima ai due poli d'una pila, si potrà collo stabilire e interrompere a vicenda il circuito nella seconda città, imprimere nella leva posta nella prima città il movimento oscillatorio che abbiamo sopra descritto.

Avendo così sviluppato il principio fondamentale della telegrafia elettrica, possiamo adesso entrare nei dettagli pratici d'esecuzione, facendo prima conoscere i mezzi che sono stati impiegati per stabilire il filo del circuito, ed esponendo i diversi sistemi d'apparecchi che producono la corrente, e quelli che eseguono i segni della corrispondenza.

Circuito telegrafico. Il filo conduttore che s'impiega nella costruzione di questo circuito è un filo di rame di circa due millimetri di diametro, ovvero uno di ferro di 3 a 4 millimetri. Si preferisce oggi generalmente il secondo perchè è assai più resistente e tenace del primo. Questo filo dev'essere perfettamente rincotto, e deve avere la maggiore lunghezza possibile onde diminuire i punti di unione o di saldatura. In principio si credeva che non si potesse avere un circuito perfetto se non mediante due fili, uno dei quali servisse per l'andata della corrente e l'altro pel suo ritorno, ma in seguito si scoprì che la terra faceva perfettamente l'ufficio di una metà del circuito, per cui un sol filo divenne sufficiente alle comunicazioni. Siano p ed r due stazioni che rappresentino per esempio Firenze e Livorno; tra le quali sia disteso, isolato dal suolo, un solo filo $a b$, la cui estremità a comunichi a Firenze col polo positivo della pila, ed il polo negativo s'immerga nel terreno; all'altra stazione l'elettrocalamita comunichi da un lato all'estremità b del filo e dall'altro col suolo. È evidente che il terreno farà le veci del secondo filo, e che la corrente dopo essersi propagata da Firenze a Livorno

pel filo, tornerà a Firenze attraverso il suolo. Per isolare il filo conduttore dal terreno si distende tra dei pali di legno solidamente piantati lungo le strade ferrate. Questi pali si fanno ordinariamente di legno di pino o di quercia, si elevano quattro a cinque metri al di sopra del suolo, e si tengono 70 a 80 metri distanti l'uno dall'altro. Su di essi sono fissate delle lastre isolatrici di porcellana o di majolica verniciata, le quali ricevono diverse forme, e su cui passa il filo. Esse sono protette dalla pioggia mediante dei piccoli tetti di zinco, perchè se si trovassero contemporaneamente bagnati il palo ed il sostegno isolatore, l'isolamento sarebbe imperfetto, si formerebbero delle correnti derivate, e sarebbero necessarie delle pile molto più forti per conservare alla corrente una sufficiente intensità. Ogni 500 metri si piantano dei pali più grossi, che diconsi *pali di trazione*, sui quali situansi delle specie di argani isolati destinati a distendere il filo e ad impedire le inflessioni troppo considerevoli che potrebbe fare tra palo e palo, se fosse troppo lente. I capi del filo si uniscono poi alle pile e alle macchine telegrafiche, e perchè il circuito sia compiuto non resta che a immergere questi capi nel suolo. A questo fine è utile che ogni capo finisca con una lastra di rame di circa mezzo metro quadro di superficie, che va ad immergersi nell'acqua di un pozzo.

Vi sono alcune linee telegrafiche, come per esempio quelle di Prussia ed alcune dell'Austria nelle quali il filo metallico invece di essere sospeso nel modo che abbiamo descritto, è invece sepolto nel terreno, dopo essere stato isolato nel modo il più conveniente ricuoprendolo di un grosso strato di guttaperca. Il filo così preparato si sotterra a circa un metro dalla superficie e si rinchiude in un tubo di legno o di materiale, o si posa semplicemente sopra uno strato di legna sottili e secche. Talvolta ai fili telegrafici si fa traversare l'acqua dei fiumi, dei canali, ed anche delle estensioni assai grandi di mare. In questo caso conviene che il filo sia isolato da un grosso strato di guttaperca. Si costruiscono oggidì pei telegrafi sottomarini dei grossissimi canapi, nell'interno dei quali racchiudonsi per maggior sicurezza varj fili telegrafici perfettamente isolati l'uno dall'altro. L'isolamento non si opera

soltanto con un involucro di guttaperca, ma si circonda questo a sua volta con un grosso strato di resina e di grasso. Tutto questo insieme è poi ricoperto da una fitta spirale di filo di ferro.

Elettromotori telegrafici. Per produrre la corrente nei circuiti telegrafici si può impiegare indifferentemente una delle pile da noi descritte, od anche un apparecchio d'induzione, proporzionando sempre la forza dell'elettromotore alla lunghezza del circuito ed alla sensibilità delle elettrocalamite che eseguiscano i segnali. Dieci o dodici elementi ordinarij di Bunsen sono bastanti pel servizio fra due stazioni distanti circa 100 chilometri.

Segnali telegrafici. I diversi apparecchi che sono stati immaginati per eseguire i segnali telegrafici si comprendono nei tre sistemi che siamo per indicare; vale a dire: il *telegrafo a quadrante*, il *telegrafo a segnali*, ed il *telegrafo scrivente*. In tutti questi sistemi le macchine telegrafiche si compongono sempre di un *manipolatore* o apparecchio per scrivere e mandare i dispacci, dell'*allarme* o sveglia, ed infine del *telegrafo* propriamente detto.

Telegrafo a quadrante. Il manipolatore di questo telegrafo consiste in un disco *C* di legno (*Tav. V, Fig. 121*) di cui l'orlo per la metà dell'altezza è coperto da una striscia continua di ottone, essendo l'altra metà divisa in un certo numero di parti eguali, quante sono le lettere scritte sul quadrante della macchina a segnali; queste divisioni sono interpolatamente lasciate di legno in *I, L' e c. e c.*, e di parti metalliche in *O, O' e c.*; e queste ultime comunicano colla striscia metallica. Sulla faccia superiore di questo disco e presso l'orlo, sono incise le lettere in tante caselle corrispondenti alle divisioni in legno e metallo che abbiamo indicate; e di contro ad ogni lettera *v'* ha un foro assai profondo. Questo disco *C* è mobile intorno ad un asse fissato sopra la tavola inferiore, sulla quale riposa tutta la macchina; quest'asse, che è un cilindro vuoto, contiene un secondo asse conico, che è quello del manubrio *D*, per mezzo del quale si fa ruotare il disco. A questo fine si solleva il manubrio per mezzo del suo manico articolato nell'estremità congiunta coll'asse, e s'introduce la punta con

cui termina nel foro corrispondente alla lettera che si deve scrivere, e si fa così ruotare il disco fino a che il manubrio incontri il pezzo *E* di arresto, destinato a ottenere in modo sicuro la pausa che distingue la lettera che si scrive. Vi sono inoltre, intorno al disco, e stabilmente fissate sulla tavola *A B*, tre appendici metalliche *S*, *F*, *R*, le quali consistono in tre molle di ottone che vengono in contatto dell'orlo e che vi stanno premute da una forte molla di acciaio. Queste molle di ottone comunicano rispettivamente per mezzo di fili metallici e delle viti *E*, *P*, *Z*, col polo positivo della pila, col filo telegrafico della linea e colla macchina a segnali o colla soneria. Una di queste molle, che è quella in comunicazione col filo della linea, tocca la striscia metallica continua dell'orlo; le altre due molle sono applicate contro quella metà dell'orlo che è divisa in pezzi di legno e di metallo, e sono disposte in modo che mentre una tocca l'altra è in contatto di una divisione di legno. Allorché il manipolatore è nella posizione di riposo, vale a dire col manubrio sul segno —, la molla che comunica colla macchina telegrafica tocca una divisione metallica del manipolatore, di maniera che v'ha comunicazione tra il filo della linea e la macchina telegrafica; ma intanto la terza molla, quella cioè che per mezzo di un filo comunica col polo positivo della pila, preme sull'intervallo di legno ed è quindi isolata. È facile intendere come facendo ruotare il disco del manipolatore, la comunicazione fra il filo della linea e quello della macchina a segnali venga ad essere ora tolta, ora ristabilita successivamente, e come altrettanto avvenga fra lo stesso filo della linea e il polo positivo della pila, colla differenza che quando esiste la prima comunicazione manca la seconda, e viceversa.

Si è alquanto modificato il descritto manipolatore, a fine di ottenere in un tempo più breve le interruzioni e i passaggi successivi della corrente, omettendo i due movimenti accennati; vale a dire, quello di mettere la punta del manubrio nel foro della lettera che si vuole scrivere, e quello di far ruotare il disco sino al suo incontro col pezzo di arresto. Per ottenere questo intento, i passaggi e le interruzioni si producono per mezzo di una ruota dentata, la quale è por-

tata dall'asse unito al manubrio, ed i cui denti vengono ad urtare una molla, e così a stabilire la comunicazione: il disco su cui sono incise le lettere è fisso. Con questo sistema di manipolatore viene diminuito all'incirca della metà il tempo della trasmissione dei segnali, poichè nel portarsi che fa il manubrio dal punto di riposo alla lettera da segnarsi avvengono contemporaneamente i passaggi e le interruzioni della corrente, e quindi i segnali.

Il telegrafo a quadrante o la macchina a segnali propriamente detta, consiste esternamente in una cassetta quadra di legno, che in una delle sue faccie verticali porta un'apertura circolare chiusa da un cristallo, di dietro al quale sta la mostra del telegrafo, consistente in un quadrante di metallo colle lettere e cogli altri segnali distintamente incisi, e sopra cui si muove una lancetta di mica terminata in una punta nera a quella estremità che indica le lettere (*Tav. IV, Fig. 122*). Sulla stessa faccia della cassetta appariscono due altri piccoli fori, uno dei quali serve a introdurre la chiave onde montare la molla che fa agire la macchina, e l'altro piccolo per la chiave con cui si distende o si rallenta una piccola spirale di cui descriveremo in breve l'ufficio.

L'interno della macchina, vale a dire il vero apparecchio, si compone di due cilindri elettromagnetici M ed N (*Tav. IV, Fig. 123*) montati orizzontalmente e riuniti fra loro in modo da formare una vera calamita temporaria a ferro di cavallo: intorno ai cilindri di ferro dolce è avvolto per varie migliaia di giri un filo finissimo di rame coperto di seta, i cui capi T e T' comunicano l'uno colla terra, l'altro con una delle molle del manipolatore. Per mezzo di una vite, i due cilindri possono essere mossi orizzontalmente e in un modo assai regolare. Di contro ai due poli dei cilindri elettromagnetici è sospesa l'ancora P di ferro dolce, la quale secondo che la corrente circola o è interrotta, viene ad essere ora attratta ed ora abbandonata a sè. All'asta verticale $H K$ dell'ancora è fissata una delle estremità di una piccola spirale S di ottone, la quale può essere più o meno distesa, mediante un filo di seta unito all'altra estremità, il quale passando dal foro a , viene ad avvolgersi intorno al perno b , che mette

capo a quel foro praticato nella faccia esterna della cassetta, già da noi accennato, e per cui s' introduce la chiavina destinata a regolare la tensione della spirale. S' intende ora come l'ancora ritenuta in una determinata posizione dal modo con cui è sospesa e dalla tensione varia della spirale, possa esser posta in oscillazione, quando per i passaggi e le interruzioni successive della corrente ora è attratta dai cilindri elettrodinamici, ed ora ristabilita al suo posto dalla elasticità della spirale. Non resta adunque se non concepire come da questi alternativi movimenti od oscillazioni dell'ancora si ottiene il moto della lancetta intorno al quadrante del telegrafo. Il meccanismo destinato a questa trasformazione di movimento è analogo a quello dello *scappamento* degli orologi a pendolo o a molla. Infatti la lancetta del telegrafo è fissata ad un asse che porta un piccolo rocchetto ed una ruota dentata *Z*, i cui denti sono tutti inclinati in un verso ed il loro numero è eguale alla metà dei passi che deve fare la lancetta percorrendo l'intero quadrante. Per la indicata inclinazione de'suoi denti, la rotazione del sistema non può accadere che in un verso, ed è impedita nell'opposto. Un meccanismo d'orologeria messo in azione da una molla che si carica dall'altro foro esterno sopra indicato, qualora fosse lasciato libero presto si scaricherebbe, e le sue ruote e l'indice girerebbero con una velocità grandissima e varia, distruggendo in pochi istanti la forza motrice. Ma il pezzo dello scappamento, che fa parte dell'ancora di ferro dolce, è disposto in modo da entrare successivamente con una delle sue due palette fra i denti inclinati della ruota *Z*, per cui può essere ora permesso ed ora impedito a quella ruota e quindi all'indice di girare. Nell'istante in cui la corrente passa attorno ai cilindri elettro-magnetici, l'ancora è attratta, per cui la palette dello scappamento essendo spostata, lascia passare il dente della ruota che tratteneva: intanto l'altra palette si trova spinta contro il dente successivo, e così la lancetta fa un passo solo. Cessando la corrente e l'attrazione dell'ancora, la piccola spirale *S* rimette l'ancora al suo posto, ed in questo movimento accade un secondo passo dello scappamento, e quindi un secondo movimento della lancetta. Si vede adunque come continuando queste alternative, la lancetta deve percorrere successivamente tutto il quadrante.

Anche nell'apparecchio di *allarme* o *soneria* vi sono delle elettrocalamite, un'ancora di ferro dolce e un movimento d'orologeria; ma questo è più semplice di quello della macchina a segnali; non essendovi la ruota ed il pezzò dello scappamento. Nella soneria, la forza motrice, che è quella di una molla distesa, è ritenuta da un pezzo unito all'ancora nella sua posizione di riposo; allorchè la corrente passa, l'ancora è attratta, e lascia così libera l'azione della molla, per cui l'asta intorno alla quale è avvolta la molla prende a ruotare rapidamente, e in questo movimento incontra successivamente un piccolo battaglio e lo costringe ad urtare contro la sua campanina.

Telegrafo a segnali. La Fig. 124, Tav. V rappresenta l'apparato ricevitore di un telegrafo a segnali. Alla faccia anteriore di una cassa trovasi applicata una lastra bianca, sulla quale è segnata una traccia nera *m* avente a' suoi estremi due raggi mobili *o* ed *r* destinati a servire di indicatori per mezzo della loro inclinazione relativamente alla traccia fissa *m*. Il movimento di questi indicatori non è continuo, ma accade ad intermittenze con rotazione di 45 gradi ad ogni volta, in maniera che ciascuno di essi può occupare otto posizioni diverse attorno al suo centro. Le otto posizioni di uno degl' indicatori, combinate con quelle dell'altro, danno 64 combinazioni che costituiscono altrettanti segnali. Però siccome per ciascun indicatore i due segnali orizzontali potrebbero facilmente confondersi, se ne adopera soltanto uno, e quindi si hanno per ciascun indicatore sette segnali, che combinati coi sette dell'altro danno 49 segnali differenti. Il movimento di ciascuno degl'indicatori è prodotto da un congegno di orologeria e da un elettromagnete che è in comunicazione col filo che si stende da una stazione all'altra e che è attraversato dalla corrente.

L'apparato ora descritto è collocato al luogo dell'arrivo del dispaccio. All'altra stazione trovasi il manipolatore, il quale ha sempre una certa analogia con quello del telegrafo precedente, ove si ometta il quadrante. È composto di due ruote con otto denti, le quali fatte muovere colla mano servono a stabilire ed interrompere due correnti, una delle quali va all'elettromagnete dell'indicatore *o* e l'altra a quello dell'indicatore *r*. Durante una intiera rivoluzione ogni ruota

lascia passare otto volte la corrente ed altrettante la interrompe, e così l'indicatore corrispondente può assumere tutte le sue otto posizioni successive. Le manovelle che servono a muovere le due ruote s'avanzano anch'esse di 45 gradi ad ogni intervallo, e per tal guisa occupano successivamente le stesse posizioni dei loro indicatori. Infine per far muovere contemporaneamente queste due manovelle si girano l'una colla mano destra e l'altra colla sinistra.

Telegrafo scrivente. Questo telegrafo è quello immaginato dall'americano Morse. Esso consiste in una calamita temporaria fissata sopra un piano in modo da essere rivolti in alto i suoi poli. Questa calamita temporaria, come quella di ogni macchina telegrafica è formata da due cilindri di ferro dolce di piccole dimensioni, circondati da un filo di rame sottilissimo, bene isolato e che fa molte centinaia di giri intorno ad essi (Tav. V, Fig. 125). Quanto è maggiore la distanza dei punti fra cui si vuole stabilire la comunicazione telegrafica, tanto maggiore dev'essere la lunghezza del filo di rame, e quindi il numero de'suoi giri intorno ai cilindri di ferro. Un'ancora D di ferro dolce, fissata ad una leva che assai delicatamente si muove intorno ad un pernio, viene in contatto dei poli della calamita, allorchè è attratta. Una molla r di acciaio è fissata alla parte inferiore della leva presso la sua estremità libera. A questa stessa estremità della leva è unita una punta o di acciaio assai duro, la quale cade esattamente sul mezzo del cilindro metallico H , ove esiste un solco circolare su cui si avvolge una striscia $h p$ di carta che rimane tesa per essere come le corde senza fine avvolta pure intorno ad un altro cilindro. Allorquando la corrente passa, si magnetizza la calamita e l'ancora è attratta. Interrotto il circuito, cessa l'attrazione, e la molla riconduce la leva al suo posto. Intanto la punta di acciaio ha fatto un foro nella carta. Supponiamo ora che il cilindro metallico che è sotto la punta, sia mosso con un movimento di orologeria di un moto uniforme, in modo che la striscia di carta venga a scorrere sotto la punta. Se il circuito sta chiuso, si avrà una linea fatta dalla punta, la quale sarà più o meno lunga secondo il tempo che il circuito si tiene chiuso. Un accordo arbitrario di punti,

di spazi più o meno lunghi o di linee, costituisce l'alfabeto telegrafico con cui si fanno le comunicazioni.

Disposizione delle stazioni telegrafiche tra loro comunicanti.
 Onde completare la descrizione delle macchine telegrafiche, ci rimane per ultimo a dire della loro disposizione in due stazioni che corrispondono assieme. Nella Fig. 126, Tav. V si veggono disegnati in a ed a' i manipolatori delle due stazioni; t e t' sono le due macchine a segnali, e s ed s' le sonerie; p e p' sono le pile, g e g' i due galvanometri, ed m e m' sono due commutatori, vale a dire due apparecchi destinati a far comunicare una delle molle del manipolatore, ora colla soneria ora col telegrafo. A questo fine una striscia di metallo, che si fa girare per mezzo di un manubrio sopra un disco di legno, viene talora a congiungere i capi metallici della molla e del filo della macchina a segnali, talora quelli della stessa molla e del filo della soneria. F è il filo metallico della linea che congiunge le due stazioni, e I ed I' sono le due lastre di rame che pescano ne' due pozzi presso le stazioni, e per mezzo delle quali il circuito si completa colostrato terrestre interposto. Ognuna di queste lastre di rame comunica con tre fili metallici; uno di questi fili termina col capo del filo avvolto intorno al cilindro elettromagnetico della macchina a segnali, il secondo col filo simile della soneria, e il terzo col polo negativo della pila.

Se ora ci faremo tornare in mente le disposizioni già descritte parlando delle molle del manipolatore e della loro comunicazione col filo della linea, colla macchina a segnali o colla soneria, e col polo positivo della pila, si potrà facilmente concepire, come partendo dal punto di riposo, possa ciascuna stazione comunicare e dar segnali all'altra, e come dopo due segnali dati ritornino le macchine delle due stazioni nelle stesse condizioni di riposo, per cui chi ha ricevuto quei primi segnali può rispondere a chi glieli ha inviati. Gettando gli occhi sulla figura si vedrà come al punto di riposo non vi è mai corrente che circoli, imperocché in ognuno dei due manipolatori la molla che comunica col polo positivo della pila tocca in quell'istante un intervallo del disco che è in legno. Vediamo ora ciò che avviene allorquando s'imprende

a trasmettere dei segnali. A questo fine si comincia dal far girare di un passo il manipolatore, portando il manubrio nel foro che corrisponde al segno $+$, posto subito alla destra del segno $-$ o di riposo, e spingendo il manubrio contro il punto di arresto. Per questo movimento la molla che comunica col polo positivo della pila viene in contatto di un intervallo metallico, mentre si porta sul legno l'altra molla che comunica colla propria macchina a segnali. Per questa nuova disposizione delle comunicazioni, la corrente della pila della stazione che scrive, traversa il proprio manipolatore, e per mezzo di quella molla che si trova in un contatto metallico continuo col manipolatore stesso, entra nel filo F della linea e giunge al manipolatore dell'altra stazione che trova nel punto di riposo, e quindi colla molla che comunica colla macchina telegrafica in comunicazione metallica col filo della linea. Traversato il filo di rame dei cilindri elettromagnetici, la corrente entra nella lastra del pozzo, traversa lo strato terrestre interposto, e giunta all'altra lastra della stazione che ha trasmesso il segnale, trova infine il polo negativo della pila. Nello stesso tempo è accaduta la magnetizzazione dei cilindri elettromagnetici della macchina ricevente, e quindi la sua lancetta si è portata sul segno $+$, nella stessa guisa del manubrio del manipolatore scrivente. Un secondo passo fatto fare a questo stesso manipolatore, portando il manubrio sulla lettera A , interrompe il passaggio della corrente, perchè rimette sul legno la molla che comunica col polo positivo della pila: cessa quindi la magnetizzazione dei cilindri della macchina ricevente, l'ancora di ferro dolce torna al suo posto, per cui anche l'indice fa un altro passo, e segna la lettera A . Questi movimenti accompagnati dalle medesime successioni d'interruzioni e di passaggi della corrente determinano il moto della lancetta intorno al suo quadrante, e servono così a indicare le varie lettere di cui si compone il dispaccio che si vuole trasmettere.

Induzione elettromagnetica.

Abbiamo poco innanzi veduto, comé nella teoria di Ampère, si considerano le calamite quali conduttori percorsi da correnti circolari. Era dunque naturale il supporre che una calamita potesse dar luogo a dei fenomeni d'induzione; ed egualmente era ciò da supporre per le calamite temporarie. Faraday dimostrò infatti questa conseguenza della teoria d'Ampère, con un bel numero di esperimenti, i quali perciò formano il compimento di quella teoria.

Se ad una di quelle spirali piane che abbiamo descritte parlando della induzione elettrodinamica, si avvicini rapidamente una verga calamitata, mentre le sue estremità sono unite ai capi del galvanometro, tosto vedesi che l'ago devia di un certo numero di gradi e indica una corrente che è in direzione contraria di quella che nella teoria amperiana si ammette che circoli nella estremità della calamita che è stata appressata alla spirale; seguitando a tenere su questa la calamita, ogni deviazione cessa in breve; ma se allora si allontana la sbarra dalla spirale, immediatamente l'ago devia dello stesso numero di gradi di prima; ma la deviazione è inversa alla precedente, e indica che la corrente che si produce nell'allontanamento della calamita è in direzione opposta di quella che nasce nell'avvicinamento. Queste correnti d'induzione ottengono meglio colle spirali cilindriche, introducendo nel loro interno i poli delle calamite. Possono anche prodursi coprendo con una spirale di filo di rame un pezzo di ferro dolce piegato a ferro di cavallo e legando le due estremità della spirale al galvanometro (*Tav. IV, Fig. 127*). Accostando alle estremità della verga di ferro dolce i due poli di una calamita *a b*, all'istante si ha l'induzione prodotta dalla calamita temporanea. Infine può anche farsi una calamita temporanea colla corrente ed ottenersi la sua induzione sopra un'altra spirale. Se faremo uso di una spirale cilindrica avvolta su di un rocchetto, ed introdurremo nel suo interno un cilindro di ferro dolce, o meglio un fascio di fili di ferro ben ricotti, s'intenderà facilmente che al passare della corrente della

pila pei giri dell'elica il ferro si calamiterà; e ciò vale come se una calamita si fosse introdotta nel rocchetto, onde ne conseguirà che in quel primo momento circoleranno per l'elica, oltre la corrente primaria, anche l'extracorrente e la corrente indotta dalla calamita, e però all'attacco non si avrà scintilla anche quando la pila l'avesse data a circuito breve, e nemmeno la scossa, imperocchè le correnti indotte vanno per verso contrario a quello della corrente principale; ma al distacco il ferro scalamitandosi agisce come se si estraesse una calamita dal rocchetto, ed in conseguenza induce nella elica una corrente diretta, la quale unita alla extracorrente che pur va per lo stesso verso della corrente principale, dà luogo ad una luce assai più viva nella scintilla, per modo che una coppia alla Grove fa l'ufficio di 20 a 30 coppie almeno, e la scossa riesce anche molto vigorosa.

La terra essa pure essendo una enorme calamita, dovea manifestare le correnti d'induzione. Faraday fu il primo che giungesse a dimostrarlo colla esperienza. Egli prese un filo di rame di circa 3 metri di lunghezza e di 1 a 2 millimetri di diametro, lo unì colle sue estremità ai capi del galvanometro, quindi gli diede la forma di un rettangolo, che pose in direzione perpendicolare al meridiano magnetico, ed il cui lato inferiore era quello interrotto dal galvanometro. Questo rettangolo fu poi disposto in guisa che potesse rotare intorno al suo lato inferiore o ciò che torna lo stesso, in modo da far descrivere al lato superiore una superficie cilindrica intorno al lato inferiore. Quando si fa girare il rettangolo da nord a sud per mezzo giro si vede l'ago del galvanometro deviare per un verso, e per l'altro mezzo giro deviare pel verso contrario. Per una rotazione intiera si hanno veramente quattro correnti, perocchè nel giro del rettangolo il lato che è in movimento si avvicina e si allontana da ciascun polo della calamita terrestre; e poichè due di queste correnti vanno per un verso, così il galvanometro pare che ne indichi due che sono veramente le due somme. Il fenomeno si riproduce egualmente in qualunque piano; non v'ha che un caso nel quale non si ottiene verun effetto; ed è quando la parte mobile del filo si muove parallelamente alla direzione dell'ago d'inclinazione;

ma non appena essa s'inclina su questa, tosto la corrente d'induzione si produce; e quando essa le è perpendicolare, giunge al suo massimo d'intensità. Non è necessario dare al filo la forma di un rettangolo; basta dargli la forma di una curva chiusa qualsiasi; ma quanto è più lunga la parte del filo a cui s'imprime un movimento, e quanto è maggiore lo spazio che gli si fa percorrere, tanto più considerevole è l'effetto.

La facilità colla quale il magnetismo terrestre può sviluppare delle correnti elettriche nei corpi in movimento, fa conoscere come non vi sia pezzo metallico che essendo posto in movimento, non sia per quella causa percorso da correnti elettriche. Faraday imprimendo un rapido moto di rotazione a un disco di rame orizzontale è riuscito ad ottenere delle correnti d'induzione che erano sempre dirette dal centro alla circonferenza o dalla circonferenza al centro, a seconda del verso della rotazione. Queste correnti rendevansi manifeste facendo comunicare una delle estremità del galvanometro coll'asse di rotazione, e l'altra colla circonferenza del disco. Nessun effetto avea luogo, quando il disco girava nel piano del meridiano magnetico o in qualunque altro piano che passasse per la linea d'inclinazione; ma tosto che il piano in cui ruotava era inclinato anche di un piccolo angolo su quella direzione, la corrente si produceva ed era massima quando quell'angolo era di 90° . Con un globo di rame disposto in modo che il suo asse di rotazione sia inclinato alla direzione dell'ago di inclinazione, ma rimanga nel piano del meridiano magnetico, si ottengono, col farlo ruotare, delle correnti d'induzione che sono abbastanza forti per fare deviare un piccolo ago magnetico astatico che vi si accosti; e le sue deviazioni cangiano di direzione a seconda della direzione del movimento del globo.

Barlow ha ottenuto gli stessi effetti con un globo di ferro posto nelle stesse circostanze; ed ha così stabilito la differenza che esiste tra l'azione di un globo di ferro in riposo e quella di un globo di ferro in movimento, sopra un ago magnetico.

Macchine d'induzione elettromagnetica ed elettrotellurica.

La prima macchina d'induzione elettromagnetica colla quale

si poterono ottenere dalle correnti indotte gli ordinarij effetti delle correnti voltaiche, vale a dire la scintilla ec., fu quella immaginata da Nobili ed Antinori, nella quale l'induzione era prodotta da un grosso fascio di calamite artificiali a ferro di cavallo, sopra un lungo filo di rame avvolto replicatamente attorno ad un'ancora di ferro dolce. Mediante una leva si otteneva il distacco di quest'ancora dalla calamita, ed in quell'istante una piccola scintilla balenava tra una piccola molla metallica e la calamita stessa. Con altro congegno poteansi anche ottenere delle scosse assai forti nel momento del distacco e in quello dello attacco. Quest'apparecchio fu denominato *calamita scintillante*; ma poco appresso Pixii, Clarke ed altri ne costrussero degli assai più potenti e ad azione continua. *L'apparecchio di Clarke è rappresentato dalla Fig. 128, Tav. V.* *A* rappresenta una calamita artificiale a ferro di cavallo composta di un certo numero di lamine di acciaio calamitate e quindi unite in fascio magnetico: essa è mantenuta addossata ad una tavoletta verticale di legno mercè delle viti di ottone. Dinanzi ai poli di questa calamita possono rotare due rocchetti *B B'* di filo di rame vestito di seta che avvolgono due cilindri di ferro dolce congiunti da una traversa del medesimo metallo, in guisa da formare una vera calamita temporaria; questi rocchetti girano insieme intorno ad un'asse comune che passa tra essi mercè una ruota *R* munita di fune perpetua. Le due eliche sonò una destrorso e l'altra sinistrorso, e sono unite in modo che le origini delle due spirali sieno congiunte da una parte e gli estremi dall'altra. Per questa disposizione la corrente indotta si dirige nello stesso verso nei capi riuniti. Le origini delle due eliche comunicano con un anello metallico *q* sovrapposto all'asse di rotazione il quale è pure metallico, ma tra l'anello e l'asse v'ha un altro anello intermedio di avorio. Gli estremi delle eliche comunicano invece coll'asse di rotazione. Or dunque se si suppone l'anello metallico *q* messo in comunicazione coll'asse, il circuito sarà chiuso; altrimenti sarà interrotto. Onde l'anello metallico anzi-detto e l'asse sono i due poli dell'apparecchio. Ciò posto, quando l'elettromagnete gira, i suoi due rami si calamitano alternativamente in senso contrario sotto l'influenza della calamità *A*,

ed in ciascun filo si produce una corrente indotta che cangia direzione ad ogni mezza rivoluzione. Per intendere l'andamento di queste correnti, bisogna rammentare che i due capi del filo terminati all'anello q danno una corrente diretta nello stesso verso, e che altrettanto accade di quelli che si riuniscono all'asse. Ora dinanzi all'anello q , trovasi un altro anello o ghiera o , formato da due pezzi metallici eguali, isolati l'uno dall'altro, ma comunicanti l'uno con q l'altro coll'asse. Ne risulta che durante la rotazione dello elettromagnete, ciascuna metà della ghiera o rappresenta un polo che cangia di segno ad ogni mezza rivoluzione. Dai due pezzi di o la corrente passa sopra le due lamine di ottone b e c e di là sulle lastre m ed n . Per questa disposizione, in ciascuna delle lamine b e c la corrente è sempre diretta nello stesso verso. Infatti la lamina c tocca l'uno dopo l'altro i due pezzi di o , epperò trovasi successivamente in comunicazione coll'asse e con q , e quindi coi due capi dei fili, poi cogli altri due. Ma essendo i fili avvolti in direzione contraria, quando il rocchetto B' prende il posto di B , la corrente dell'anello q , come quella dell'asse cangia di segno e per conseguenza altrettanto avviene di ciascuna metà della ghiera o ; e siccome allora la lamina e ne tocca la metà opposta a quella con cui era prima in contatto, la corrente che passa per la lamina è diretta ancora nello stesso verso. Colle sole due lamine b e c le due correnti contrarie che partono dai due pezzi di o non potrebbero riunirsi; ma la riunione si opera per mezzo della terza lamina a e di due appendici i , delle quali una sola è visibile nella figura. Queste due appendici sono isolate l'una dall'altra sopra un cilindro di avorio, ma comunicano rispettivamente coi pezzi di o . Ogni qualvolta la lamina a tocca una di queste appendici, è in comunicazione colla lamina b , e la corrente è chiusa perchè passa di b in a , poi nella lamina c per la lastra n . Al contrario finchè la lamina a non tocca una delle appendici la corrente è interrotta. Al momento in cui la corrente s'interrompe si possono ottenere fortissime commozioni. A questo effetto si fissano in m ed n due lunghi fili di rame ravvolti ad elica e terminati da due cilindri p e p' che si prendono tra le mani. Allora ogni volta che la

corrente s' interrompe , producesi nel circuito formato dai fili n p , r p' e dal corpo dell'esperimentatore una estracorrente istantanea che cagiona una forte scossa. Questa si rinnova ad ogni mezza rivoluzione dell'elettromagnete, e la sua intensità anmenta colla velocità di rotazione. Allora i muscoli si contraggono con tale violenza che non possono obbedire alla volontà, e le dita non si possono più distendere. Coll'apparato di Clarke si fanno produrre alle correnti di induzione magnetica tutti gli effetti delle correnti voltaiche. La fig. 129 mostra come si disponga l'esperimento della decomposizione dell'acqua. Allora si sopprime la lamina a , trovandosi chiusa la corrente dal liquido in cui s'immergono i due fili che servono di elettroidi. Per gli effetti fisiologici e chimici il filo avvolto sui rocchetti è sottile ed ha sopra ciascun rocchetto la lunghezza di 500 a 600 metri. Per gli effetti fisici al contrario, il filo è grosso, ed ha una lunghezza di 25 a 30 metri sopra ogni rocchetto.

Apparecchio d'induzione per dare le scosse ai malati. Consiste in un rocchetto di legno su cui s'avvolge replicatamente un filo di rame sottile coperto di seta, nel quale si fa passare la corrente di uno a due elementi di Bunsen. Nell'interno del rocchetto si può disporre a volontà un fascio di fili di ferro. L'apparato è disposto in modo che il circuito si apra e si chiuda da sè, onde produca le commozioni in chi tiene in mano i due capi del filo nel punto della sua interruzione. A quest'uopo il filo conduttore è interrotto in un altro punto, e quivi uno dei suoi capi è saldato a un pezzo di ferro che è tenuto a contatto dell'altro capo per mezzo di una molla, e così il circuito è stabilito. Ma quando passa la corrente il pezzo di ferro è attratto dal fascio dei fili di ferro contenuti nella spirale e che sono divenuti magnetici, e perciò è sollevato dalla sua posizione, e così il circuito viene interrotto: allora la molla respinge il ferro al suo posto cessando di essere attratto, e così il circuito è ristabilito. Quest'apparecchio agisce in virtù dell'extracorrente e delle correnti istantanee d'induzione che si generano nel fascio dei fili di ferro, al momento che la corrente s'interrompe; nel modo che abbia-

mo avuto luogo di accennare di sopra. Nel medesimo si può regolare l'intensità degli effetti, introducendo nell'interno del rocchetto un maggiore o minor numero di fili di ferro.

Apparecchio d'induzione tellurica. Questo apparecchio deve ai fisici italiani Palmieri e Linari. Esso è composto di un'elica *a b* (Fig. 130, Tav. V), di filo di rame vestito di seta, di figura ellittica, mobile intorno all'asse maggiore; di un sistema di ruote dentate *V* per aumentare la velocità di rotazione, e di un meccanismo situato sulla mensola *C*, simile a quello descritto nell'apparecchio di Clarke, destinato alla interruzione del circuito. I capi dell'elica comunicano in conseguenza, come nel citato apparecchio di Clarke uno con l'asse metallico, e l'altro con l'anello pure metallico sovrapposto all'asse anzi-detto dal quale è isolato per un anello di avorio interposto. Il sostegno ed il motore sono di ferro, solo il primo rocchetto ha i denti di legno per evitare il rumore, e di legno è pure il telaio ellittico sul quale l'elica è adagiata.

Situato l'apparecchio in modo che l'asse di rotazione dell'elica avvolta sul telaio di legno sia perpendicolare al meridiano magnetico, se si faccia ruotare con una certa velocità, regolando le cose in modo che il circuito s'interrompa nel momento in cui la corrente passa colla maggiore efficacia si vedrà balenare la scintilla. Impugnando con le mani bagnate di acqua acidulata o salata i manubri *K* si avrà la scossa; infine si potranno ripetere con questa macchina tutte le esperienze che si fanno con quella di Clarke.

Magnetismo di rotazione. L'azione reciproca fra le calamite e tutti i corpi conduttori allorchè sono in movimento è una conseguenza dei fenomeni d'induzione elettrodinamica trovati da Faraday. La scoperta di quest'azione è dovuta ad Arago. Questo fisico osservando le oscillazioni di un ago calamitato contenuto in una scatola di rame, fu sorpreso di vedere che il numero delle oscillazioni che faceva diminuivano assai rapidamente di ampiezza e cessavano ben tosto, per quanto avesse cura di render mobile l'ago; mentre adoperando lo stesso ago fuor della scatola di rame, le sue oscillazioni si conservavano dell'ampiezza ordinaria. Essendosi dato l'Arago a

rintracciare la causa di questo fenomeno, fece oscillare successivamente sopra diversi dischi di rame più o meno grossi uno stesso ago calamitato, e vide che l'ampiezza delle oscillazioni diminuiva tanto più rapidamente quanto più il disco era grosso. Herschel e Babbage ripeterono poscia questa osservazione adoperando piatti di altri metalli, e stabilirono che l'accennata azione sull'ago variava nei metalli nell'ordine seguente, in cui l'azione del rame è rappresentata dall'unità.

Rame	1,00	Zinco	0,03
Stagno.	0,46	Antimonio	0,09
Piombo.	0,25	Bismuto.	0,02

Poichè il rame e gli altri metalli non agivano in alcun modo sull'ago calamitato allorchè questo era in riposo, bisognava concludere che la causa di quest'azione risiedeva nel movimento dell'ago. Laonde Arago venne a pensare che se l'ago fosse in riposo, ed in sua vece il piatto metallico in movimento, l'azione si produrrebbe anche in tal caso, e l'ago sarebbe deviato. L'esperienza confermò questa deduzione, e il risultato fu maggiore della previsione, perocchè non solo l'ago venne a deviare, ma si pose rapidamente a ruotare insieme al disco. L'apparecchio adoprato da Arago consiste in un disco di rame x (*Tav. IV, Fig. 131*) montato sopra un'asse verticale, al quale per un meccanismo di orologio può comunicarsi un movimento di rotazione. Una lastra di vetro $p p'$ è sostenuta sopra il piatto di rame, e sopra questa lastra posa una campana di vetro $c c'$. Un ago calamitato $t t$ è sospeso nell'interno della campana: il filo f cui è sospeso, e il mezzo dell'ago cadono sopra il centro del piatto. Si fa scendere l'ago più vicino che si può alla lamina di vetro e quindi al piatto. La lamina di vetro non ha altro oggetto che di non far sentire all'ago la corrente d'aria messa in moto dalla rotazione del disco. Appena il disco comincia a ruotare, l'ago devia dal meridiano magnetico, quindi si pone esso pure a ruotare nella direzione stessa del disco. Il fenomeno si produrrebbe più difficilmente se il disco presentasse delle soluzioni di continuità, e fosse tagliato nella direzione dei raggi. L'interposizione del ferro o delle altre sostanze magnetiche tra l'ago e il disco impedisce affatto il fenomeno.

Dopo le scoperte del Faraday sull'induzione elettromagnetica, i fenomeni del magnetismo di rotazione hanno ricevuto una soddisfacente spiegazione.

Allorquando si accosta una calamita a un disco metallico, e quindi se ne allontana, si produrranno nel disco medesimo delle correnti d'induzione. Suile parti del disco che si allontanano dai poli le correnti saranno *dirette*; mentre nelle parti che vi si avvicinano le correnti saranno *inverse*. Lo stesso accadrà se la calamita sarà immobile ed invece ruoterà il disco. Le correnti dirette che si produrranno nei punti del disco che si allontanano dalla calamita spiegheranno su di essa un'azione attrattiva, mentre quelle inverse che si producono nei punti che le si avvicinano la respingeranno, laonde queste due azioni si uniranno per trascinare la calamita o l'ago magnetico nel verso stesso del disco. Dopo ciò è facile intendere l'influenza che esercitano nei fenomeni del magnetismo di rotazione le soluzioni di continuità del disco. Esse diminuiscono l'azione coll'opporvi alla circolazione delle correnti d'induzione. Le differenze di forza osservate nei dischi di metalli diversi, si spiegano pure colla differenza che esiste nel loro potere conduttore, per il quale le correnti indotte circolano più o meno facilmente nel disco.

4. DELLA LUCE.

Quella parte della Fisica che prende a studiare i fenomeni dovuti alla luce, è distinta col nome di *Ottica*.

La luce è quell'agente di natura per mezzo del quale gli oggetti ci riescono visibili e variamente coloriti. — I corpi *luminosi* son quelli nei quali ha origine questo agente; tali sono per esempio, il sole, le stelle, i corpi in combustione ed in ignizione; mentre sono corpi *illuminati* quelli sui quali esso agisce.

Si sono immaginati due sistemi intorno alla natura della luce. Newton ammetteva che la luce fosse dovuta alla emissione di un fluido imponderabile, le cui sottili particelle fossero in tutte le direzioni lanciate nello spazio dai corpi luminosi. Descartes supponeva invece che la luce altro non fosse che il risultato di certe particolari vibrazioni che subissero le molecole dei corpi luminosi, le quali si propagassero da queste attraverso un fluido sottilissimo ed elastico designato col nome di etere, di cui supponeva fosse riempito l'universo, nel modo stesso con cui le onde sonore si propagano nell'aria. Vi sono certi fenomeni luminosi, come quelli della diffrazione e degli anelli colorati, dei quali non si può dare spiegazione col sistema dell'emissione; mentre sono stati completamente spiegati da Fresnel col soccorso della teoria delle ondulazioni. Perciò oggidì quest'ultima teoria è quella generalmente adottata.

1.ª *Propagazione della luce.*

L'osservazione giornaliera c'insegna che la luce si propaga in tutti i versi dai corpi luminosi; così per esempio la fiamma di una candela sarebbe visibile da tutti i punti di una sfera di cui occupasse il centro, e nello immenso spazio del cielo il sole diffonde per ogni lato la sua luce, la quale risplende contemporaneamente sul nostro globo, sui pianeti, sui satelliti, e su tutti gli altri astri del firmamento, qualunque sia il punto che occupano nella sfera infinita nel mondo. La luce è capace di propagarsi attraverso il vuoto ed attraverso i corpi ponderabili. Difatti la luce del sole e delle stelle non giunge a noi, se non dopo aver traversato degl'immensi spazj vuoti, e quindi la nostra atmosfera; inoltre sappiamo che essa è capace di traversare certi liquidi, come l'acqua ed anche alcuni solidi, come i vetri e i cristalli.

I corpi che si lasciano traversare dalla luce diconsi *trasparenti*, mentre quelli che non sono capaci di trasmetterla attraverso di loro diconsi *opachi*. I corpi trasparenti debbonsi poi più particolarmente distinguere in *diafani* ed in *translucidi*: i primi son quelli che lasciano scorgere attraverso di essi la forma, il colore e tutte le accidentalità degli oggetti; cioè a

dire che si lasciano traversare da tutta la luce da cui sono colpiti gli oggetti; gli altri non si lasciano traversare che da una porzione della luce dei corpi luminosi o dei corpi illuminati, per cui gli oggetti non scorgonsi distintamente attraverso di essi. Corpi diafani sono per esempio l'aria, l'acqua, il vetro; corpi traslucidi sono per esempio il talco, la carta, il vetro smerigliato.

La luce si propaga in linea retta in un mezzo omogeneo. Disponendo sopra una lunga riga tre dischi traversati nel loro centro da un foro piccolissimo, in modo che i loro fori sieno tutti sulla medesima linea retta, si vede dal primo foro la fiamma di una candela posta a grande distanza dall'ultimo disco. Se la luce dalla candela seguisse una linea curva non sarebbe possibile scorgerne la fiamma attraverso i tre dischi posti ad una grande distanza l'uno dall'altro. È anche facile convincersi della direzione rettilinea della luce, facendo entrare la luce solare da un piccolo foro entro una stanza oscura: il polviscolo che nuota nell'aria essendo illuminato lascia scorgere la strada della luce, costituendo una lunga striscia lucente. Ogni linea retta presa sul cammino per cui si propaga la luce si dice *raggio luminoso*: un insieme di raggi emessi da una stessa sorgente, dicesi *fascio luminoso*; e questo vien detto *parallelo* quando è composto di raggi paralleli, *divergente* quando i raggi che lo formano si allontanano fra loro, e *convergente* quando i medesimi invece concorrono tutti verso un punto.

Ombra. L'ombra non è altro che l'oscurità prodotta dall'interposizione di un corpo opaco, che impedisca ai raggi luminosi di proseguire la loro strada. Infatti consideriamo un punto luminoso S , ed un corpo opaco qualunque M (Tav. V, Fig. 131), e concepiamo la retta SC che passi pel punto luminoso e faccia una rivoluzione intorno al corpo illuminato, scorrendo tangenzialmente al contorno di esso; una tal linea descriverà una superficie conica, di cui la linea di contatto col corpo opaco separerà evidentemente la parte del corpo che riceve la luce da quella che non ne riceve. Il cono al di là del corpo comprende uno spazio nel quale la luce non penetra: questo spazio forma l'ombra del corpo; e se si sup-

porrà di tagliare questo spazio con un piano, su questo verrà a tracciarsi il contorno CH dell'ombra.

Penombra. Allorquando un corpo luminoso ha delle dimensioni determinate, l'ombra di un corpo ricevuta su di un piano non presenta un passaggio brusco dalla oscurità alla luce, ma sìvvero una gradazione continuata per mezzo di cui dall'ombra pura si passa alla piena luce. Infatti sieno PQS tre punti irradianti, A un corpo opaco qualunque; l'ombra che questo produce relativamente ai punti PQS è determinata dai raggi estremi Pp , Pp' , Sr' , Sr , Qq , Qq' che radono il corpo. Ora è da osservarsi che lo spazio $pabq'$ non riceve alcuno dei raggi dei punti luminosi PSQ , per cui è nella oscurità più perfetta, mentre che gli spazj par , raq di sopra, e $q'br'$, $r'bp'$ di sotto, sono nell'ombra relativamente a due o a uno dei detti punti luminosi, mentre sono illuminati da uno o da due dei medesimi. Così per esempio lo spazio par è nell'ombra relativamente ai punti Q ed S , mentre è illuminato dal punto P , e lo spazio raq è nell'ombra relativamente al punto Q , mentre è illuminato dai punti P ed S . Perciò lo spazio par è meno oscuro dello spazio $pabq'$ ove l'ombra è totale, e lo spazio raq , è meno oscuro del precedente, e da esso si passa alla luce perfetta nello spazio situato al di là della linea aq , che è illuminato da tutti e tre i punti luminosi. Lo stesso dicasi degli spazj inferiori qbr' , e $r'bp'$. L'intervallo compreso fra l'ombra perfetta e la piena luce, è ciò che dicesi *penombra* o *mezzombra*. Se gl'intervalli che separano i punti PSQ sono riempiti da altri punti luminosi, il passaggio dall'ombra perfetta alla piena luce succede con una gradazione insensibile, e la penombra è costituita da una sfumatura di tinte.

Se il corpo luminoso è più grande del corpo opaco, l'ombra diminuisce gradatamente d'estensione, fino a terminare in un punto. Prende perciò la forma di un cono, la cui base è appoggiata sul corpo opaco, e il cui apice è all'estremità dell'ombra. Tale è per esempio l'ombra della terra illuminata dal sole (*Tav. V, Fig. 133*). Se il corpo luminoso è più piccolo del corpo opaco l'ombra prende la figura di un cono troncato di una lunghezza indefinita. Tale si è per esempio l'ombra della terra illuminata dalla luna (*Tav. V, Fig. 134*).

L'indicata determinazione geometrica dell'ombra e della penombra che formansi dietro un corpo illuminato non è fisicamente esatta. Difatti si riconosce che una certa quantità di luce passa nell'ombra, e reciprocamente si trova dell'ombra nella parte rischiarata. Questo fenomeno dipende da ciò che i raggi luminosi s'inflettono rasentando i corpi gli uni verso l'ombra, gli altri verso l'esterno; ma poichè questa inflessione è debolissima l'ombra *fisica* o reale differisce poco dall'ombra geometrica, eccetto però in alcune circostanze particolari di cui parleremo trattando della diffrazione.

Immagini prodotte dal passaggio della luce per le piccole aperture. Il principio generale della propagazione della luce, ci spiega ancora quei fenomeni che avvengono allorchando si raccoglie su di un diaframma la luce che si è fatta penetrare da una piccola apertura. Le esperienze relative a questi fenomeni si fanno nella così detta *camera oscura*, la quale consiste in una stanza chiusa da ogni lato ed impermeabile ai raggi luminosi, e con le pareti tinte di nero a fine d'impedire l'influenza della luce riflessa. La luce vi può solo penetrare da uno o da varj fori praticati in un'imposta di una finestra situata dalla parte di mezzogiorno. Supponiamo che esternamente dinanzi ad uno di questi fori di un diametro di uno a due centimetri, sia situato un oggetto rischiarato dai raggi del sole; esso verrà a dipingersi a rovescio sulla parete opposta al foro; e se la giornata sarà risplendente appariranno ancora perfettamente i suoi colori. Si osserverà inoltre che la grandezza della immagine è proporzionale alla distanza del foro dalla parete o dal diaframma su cui si raccoglie l'immagine. Per intendere questo fenomeno si supponga l'oggetto in questione rappresentato dalla freccia *AB* (*Tav. V, Fig. 135*). Ogni suo punto perfettamente illuminato dal sole invia la luce da ogni parte: dall'estremità *A*, per esempio, parte fra gli altri un raggio che traversa il foro, e va a colpire la parete in *a* mentre che dal punto *B* parte un raggio che colpisce la parete in *b*; lo stesso accade di tutti i punti intermedi, dimodochè l'immagine è necessariamente in senso inverso dell'oggetto. Si vede chiaramente nella figura, come raccogliendo l'immagine ad una maggior distanza dal foro, essa debba esser più grande. S'intenderà anche facilmente come avvenga che la

forma della immagine è indipendente da quella dell'apertura, quando questa sia abbastanza piccola, e il diaframma si trovi a sufficiente distanza. S'immagini infatti che il pertugio della camera oscura sia di forma triangolare e che l'oggetto luminoso di cui si vuole avere l'immagine sulla parete opposta della camera oscura, sia una fiamma collocata all'esterno. Da ogni punto di questa penetra nella camera oscura un fascio divergente che forma un'immagine triangolare simile all'apertura. Ora dalla riunione di tutte queste immagini parziali risulta un'immagine totale che ha la stessa forma dell'oggetto rischiarante. Egli è per questa ragione che se si fanno passare i raggi provenienti direttamente dal sole entro la camera oscura l'immagine di quest'astro che vi si forma è sempre rotonda, sia pur qual vuolsi quella del pertugio. In ogni caso l'orifizio della camera oscura diviene l'apice di due coni luminosi che hanno per base l'uno il corpo luminoso stesso, l'altro l'immagine di esso. Quindi se il diaframma su cui l'immagine si forma è perpendicolare alla retta che congiunge il centro dell'apertura col centro del corpo luminoso, l'immagine è simile a questo corpo; ma se il diaframma è obliquo, l'immagine è allungata nel verso della obliquità. Per questa ragione s'intende facilmente perchè i raggi del sole che traversano gl'interstizi delle foglie degli alberi formano sul suolo delle immagini luminose rotonde od ellittiche, secondo che i raggi solari cadono perpendicolarmente od obliquamente sul terreno sul quale esse proiettansi. Il passaggio dall'immagine luminosa all'oscurità, non si fa nella camera oscura in un modo brusco, ma bensì gradatamente. Difatti sieno $P S Q$ tre punti luminosi i cui raggi penetrano nella camera oscura pel foro $a b$ (Tab. V, Fig. 136) e producono in essa dei fasci conici di luce $p P p'$, $s S s'$, $q Q q'$. Questi fasci in alcuni luoghi s'intersecano e danno luogo a spazj diversamente rischiarati. Lo spazio $p a b q'$ è illuminato da tutti e tre i punti irradianti; gli spazj $s a p'$, $s' b q'$, invece ricevono luce soltanto da due punti, mentre gli spazj $s a q'$, $s' b q'$ sono rischiarati da un sol punto luminoso, e il rimanente della camera in A, B , non riceve altro raggio diretto di luce.

Velocità della luce. La velocità della luce è così grande che alle distanze valutabili sulla superficie della terra non si

osserva mai differenza di tempo sensibile fra l'apparire di un corpo luminoso e la sensazione che ne proviamo. Si richiedevano spazi molto più vasti per assicurarsi se la luce impiegava realmente un tempo apprezzabile per trasmettersi da un luogo ad un altro; e difatto Cassini e Roemer diressero le loro osservazioni sui fenomeni luminosi degl'immensi spazj del cielo, e nel 1676 trovarono la risoluzione del problema nell'osservazione degli eclissi del primo satellite di Giove. La *Fig. 137, Tav. V* può dare un'idea di queste osservazioni: *S* rappresenti la posizione del sole, *T* la terra, la quale nel percorrere la sua orbita può trovarsi in *T* e in *T'*; *G* rappresenti il pianeta Giove ed *L* un suo satellite la cui orbita è *A B C D*. Quando il satellite *L* entra nell'ombra *G g* proiettata da Giove, viene eclissato, e l'osservatore sulla terra situata in *T* trova che l'emersione del satellite dall'ombra si vede 16', 26" più presto di quando la terra è posta in *T'*, all'altra estremità del diametro *T T'* dell'orbita terrestre. Ne risulta che la luce impiega appunto 16', 26" a percorrere questo spazio, ossia 8', 13" a percorrerne la metà *S T*, ossia a giungere dal sole fino alla terra. Il raggio medio dell'orbita terrestre è di 24047, 1 raggi equatoriali della terra, ciascuno dei quali si valuta di 6376600 metri, per cui risulta che in 8', 13" la luce percorre lo spazio di metri $\frac{24047, 1 \times 6376600}{8, 13} = 310905794$; cioè la luce

ha la velocità di 310906 chilometri per secondo. Il suono avendo soltanto la velocità di 340 metri; ne risulta che la luce ha una velocità più di 900mila volte maggiore di quella del suono. È stato inoltre calcolato che la velocità della luce è 500mila volte maggiore di quella di una palla di cannone, la quale perciò conservando sempre la stessa velocità impresse dalla scarica, impiegherebbe a venire dal sole alla terra circa 8 anni. L'osservazione dimostra che tutti gli astri diffondono la luce colla stessa velocità di quella del sole; perciò pei pianeti e gli astri che sono a grande distanza dalla terra, la luce riflessa o diretta che c'invidano impiegherà un tempo più o meno grande secondo la loro posizione. Urano, che è uno dei più lontani pianeti ed ha per media distanza dalla terra 3004 milioni di chilometri, impiegherà quasi tre ore ad inviarci la luce che riceve dal sole. L'astronomo che

osserva quel pianeta non lo vede, ove realmente si trova, ma dove era tre ore prima, e se esso scomparisse dal firmamento si vedrebbe ancora tre ore dopo di avere cessato di esistere. Le stelle fisse si trovano a distanze così enormi dalla terra che la loro luce richiede qualche anno per venire sulla terra, sicchè le vediamo in luoghi dove più non sono da molto tempo. Tuttociò che esiste nel cielo al di là del nostro sistema, potrebbe esser rotto, confuso, annientato, senza che ce ne accorgessimo, e si continuerebbe ancora assai tempo a vedere come oggidì il magnifico spettacolo del firmamento, mentre altro non sarebbe allora che una completa illusione, un'immagine senza realtà.

Intensità della luce. L'intensità della luce è costituita dalla quantità assoluta di luce sparsa sopra una superficie presa per unità di misura; quindi il numero che esprime questa intensità si ha dividendo la quantità di luce che cade sopra una data superficie, per l'estensione stessa di questa superficie.

L'intensità della luce è in ragione inversa del quadrato della distanza del punto luminoso. È noto che le sezioni ab ed $a'b'$ di un cono diritto (Tav. V, Fig. 138), stanno fra loro come i quadrati delle distanze cs e $c's$ dall'apice: $c's$ essendo per esempio doppio di sc , la sezione $a'b'$ sarà quadrupla della sezione ab . Ora questo cono essendo un fascio luminoso, è evidente che la quantità di luce che cade sopra ab è la stessa di quella che cade sopra $a'b'$, e poichè in quest'ultimo caso essa è sparsa sopra uno spazio quadruplo, essa ne deve rischiarare ogni punto con un'intensità quattro volte più piccola. Resulta da questa legge che se una persona legge appena i caratteri di un libro alla luce di una candela, per leggerli, ad una distanza doppia le abbisogneranno quattro candele d'eguale facoltà illuminante.

L'intensità della luce dipende anche dalla posizione della superficie per rapporto ai raggi dai quali viene rischiarata. Sia S un punto lucido (Tav. V, Fig. 139), che rischiarla la linea d'una superficie passata successivamente dalla posizione AB alla posizione AC , la quale fa nei due casi collo stesso raggio SC , gli angoli $SBA = x$, $SCA = y$. Tutti i raggi che illuminano la superficie AB cadono anche sulla AC , e

perciò le intensità D, d della luce saranno in ragione inversa delle superficie rischiarate o delle loro basi AB, AC ; ossia si avrà $D : d :: AC : AB$. Ma la trigonometria c'insegna che $AC : AB :: \sin x : \sin y$, e da ciò vedesi che *l'intensità della luce è in ragion diretta del seno dell'angolo che fa il raggio colla superficie rischiarata.*

È questa una delle ragioni principali per cui i raggi solari producono sul nostro globo maggior illuminazione nelle ore meridiane che in quelle del mattino e della sera, essendo nel primo caso meno obliqui che negli altri due. Parimente la luce riesce più viva nell'estate che nell'inverno benchè il sole sia più distante nella prima che nella seconda stagione.

Quella parte dell'ottica che ha per oggetto di misurare la intensità delle diverse luci dicesi *fotometria*, e *fotometri* diconsi gl'istrumenti destinati a questa misura.

Il fotometro immaginato da Leslie è fondato sull'ipotesi che l'intensità della luce sia proporzionale alla temperatura che l'accompagna. Questa ipotesi non è generalmente esatta, ma sembra che per la luce del sole non sia in opposizione col fatto. Il fotometro di Leslie altro non è che una modificazione del termometro differenziale del medesimo fisico, giacchè ne differisce soltanto nell'avere una delle palle di vetro nero: questa assorbendo tutto il calore della sorgente, misura, coll'innalzamento del liquido nell'istrumento, l'intensità della luce della medesima (*Tav. V, Fig. 140*). Per evitare l'influenza dei movimenti dell'aria l'istrumento è rinchiuso in una campana di vetro, come è indicato nella figura. Col descritto istrumento Leslie ha stabilito che la luce del sole era eguale a quella di 12,000 candele; ma questo risultato, come tutti gli altri di Leslie su questo soggetto, debbonsi riguardare come ben lungi dall'esattezza.

Rumford si è servito di un altro processo fotometrico, che sembra assai migliore. Egli confrontava la intensità di due fiamme paragonando le ombre che producono. Allorchè due corpi luminosi M ed N situati su di un piano illuminano nello stesso tempo una medesima superficie CD consistente in un vetro spulito, in una carta bianca ec., si può interporre un corpo opaco P in modo che si formino sul piano le due ombre

A e *B*; la prima prodotta dal lume *M* e la seconda *B* dal lume *N* (*Tav. V*, *Fig. 141*). Le due ombre sono egualmente rischiarate dalla luce che si diffonde su tutti gli altri punti del piano *C D* proveniente dai due lumi *M* ed *N*; perciò la loro densità relativa dipende soltanto dalla minor quantità di luce di cui è dotato ciascun lume che le ha prodotte. Se i due lumi fossero dotati di egual facoltà illuminante è chiaro che le due ombre riuscirebbero di egual densità. Se i due lumi sono di differente forza si potrà allontanare dal piano di proiezione quello di maggiore splendore, di tanto che le due ombre compariscano egualmente intense: allora misurando le distanze dei due lumi dal piano di proiezione, si avranno le loro facoltà illuminanti in ragione diretta dei quadrati di queste distanze.

2.^o *Catottrica*, ossia della riflessione della luce.

Se la luce nel propagarsi incontra un corpo, vien tosto da questo più o meno respinta indietro. La riflessione della luce si distingue in regolare o speculare e irregolare. La prima accade quando un raggio luminoso incontra nel suo cammino un corpo a superficie ben liscia e levigata; la seconda quando incontra un corpo scabro e striato. I corpi lisci che riflettono regolarmente la luce si dicono *splendenti*, mentre gli altri sono solamente visibili. Per la riflessione regolare si presenta al nostro occhio, sotto la sua forma l'immagine del corpo luminoso, mentre per la irregolare vediamo soltanto il corpo illuminato.

Nulla è più facile quanto mostrare il fenomeno della riflessione regolare. Basta far cadere obliquamente un raggio solare sopra uno specchio metallico in una camera oscura; tosto il medesimo s'interrompe cadendo su quella superficie, e prende una nuova direzione contraria alla prima, la quale è visibile se nell'aria della camera v'è del polviscolo in sospensione. Si chiama *angolo d'incidenza* quello che il raggio incidente fa colla normale al punto d'incidenza, e *angolo di riflessione* quello che il raggio riflesso fa colla medesima normale. Il raggio incidente fa un angolo più o meno grande col

raggio riflesso a seconda della inclinazione dello specchio. Questo angolo divien nullo, e il raggio riflesso si confonde col raggio incidente se il piano dello specchio è perpendicolare al raggio incidente. Il piano formato dall'angolo d'incidenza dicesi *piano d'incidenza*. Quello formato dall'angolo di riflessione dicesi *piano di riflessione*.

Il raggio incidente ed il raggio riflesso sono situati in uno stesso piano normale alla superficie riflettente al punto di riflessione, e l'angolo di riflessione è eguale all'angolo d'incidenza.

Questa legge si può dimostrare sperimentalmente col seguente apparato. Consiste in un cerchio di legno ABD situato sopra un piede P (Tav. VI, Fig. 142). Sul diametro AB son fissate normalmente due piccole verghe scanalate m, n , nelle quali si può introdurre una superficie metallica ben levigata splendente, il cui mezzo corrisponde al centro C del cerchio graduato ABD . Si porta questo apparato nella camera oscura e s'introduce in essa il raggio luminoso pC , che si fa cadere sul mezzo della superficie metallica: nell'oscurità della camera si vede ch'esso vien riflesso nella direzione Cq , facendo l'angolo d'incidenza pCD eguale a quello di riflessione qCD , e che i due raggi e la normale CD alla superficie riflettente si trovano nello stesso piano.

La riflessione regolare della luce si fa con tale esattezza secondo la legge dimostrata dell'angolo d'incidenza eguale all'angolo di riflessione, che si è impiegata nella misura degli angoli diedri dei corpi levigati, e specialmente dei cristalli che presentano le diverse specie minerali.

Gli istrumenti impiegati a quest'uopo hanno ricevuto il nome di *goniometri a riflessione*.

Per bene intendere il principio su cui sono fondati questi istrumenti, consideriamo un prisma o un poliedro qualunque abc , di cui si vuol misurare l'angolo diedro abc e fatto dalle due facce ab, bc (Tav. V, Fig. 143). Supponiamo che il prisma venga disposto in modo che la linea d'intersezione delle due superficie ab, bc formanti l'angolo diedro sia orizzontale, e che applicando l'occhio ad un foro fisso O si veda sulla faccia ab per riflessione un punto fisso S , talchè sia l'angolo d'incidenza Se eguale all'angolo di riflessione Oe e a .

Fatto ciò, si giri il prisma sopra un asse parallelo all'intersezione delle due faccie $a b$, $b c$ in modo che sull'altra superficie dell'angolo diedro si veda per riflessione il punto fisso S colla stessa situazione dell'occhio; l'angolo di cui si è dovuto far ruotare il prisma per condurlo in questa seconda posizione è il supplemento dell'angolo $a b c$ che si vuole misurare. Infatti affinchè la superficie $b c$ prenda la posizione della superficie $a b$, bisogna che il prisma ruoti dall'angolo $c b d + 90^\circ$, che è appunto il supplemento di $a b c$.

Su questo principio è fondato il goniometro a riflessione di Wollaston, che è il più semplice ed il più usitato per misurare gli angoli diedri dei cristalli.

Esso componesi di un cerchio di ottone graduato sul suo orlo (*Tav. V, Fig. 144*) e mobile intorno ad un asse orizzontale $A A$, il quale è portato dal sostegno verticale $P C P$. Quest'asse riceve a sfregamento dentro di sé un'altr'asse concentrico $a a$ che da un'estremità è alquanto sporgente, e porta un pezzo incurvato $a d b$, nel quale è applicato in una cavità un cilindretto girevole disposto sul prolungamento dell'asse $a a$, e munito di due pezzi rettangolari sui quali si assicura con cera molle il cristallo delle cui facce si vuol misurare l'angolo diedro. Unito al piede $P P$ v'ha una verghetta incurvata che sostiene un disco nero con un foro nel centro, dove applicato l'occhio si vede il cristallo collocato sul pezzo rettangolare. Per fare uso dell'istrumento bisogna scegliere qualche edificio che presenti alcune linee orizzontali parallele fra loro. Allora si colloca colla sua base sopra un piano orizzontale, in modo che il cerchio essendo verticale, riesca perpendicolare o quasi perpendicolare alle linee mentovate che devono servire di mira. Applicando l'occhio vicino al cristallo si gira l'asse interno, finchè una delle linee superiori dell'edificio sia veduta per riflessione sopra una delle faccie del cristallo, e col mezzo del cilindretto mobile si fa girare il cristallo in modo che l'immagine riflessa coincida con una delle linee veduta direttamente. Si fa prova della stessa coincidenza sull'altra faccia di cui si vuol misurare l'angolo diedro colla prima, ed allorquando questa coincidenza si può ottenere successivamente sulle due faccie senza cangiare posto all'occhio, si è certi che l'inter-

sezione delle due faccie è orizzontale e parallela all'asse di rotazione. Ottenuta questa condizione si fa girare l'asse in modo che coll'occhio applicato al foro del disco si veda per riflessione una di quelle linee, e partendo da questa posizione si gira il cerchio graduato sinchè non si vede la stessa linea per riflessione sull'altra faccia del cristallo. L'arco descritto dal cerchio in questo rivolgimento è misurato dalla divisione segnata sulla periferia del cerchio, ed è eguale al supplemento dell'angolo diedro delle due faccie. Anzi per risparmiare una sottrazione, l'istrumento è graduato in maniera che si legge immediatamente sul cerchio l'angolo diedro del cristallo.

Riflessione sugli specchi piani. Chiamansi *specchi* tutti i corpi che riflettono regolarmente la luce e ci rappresentano l'immagine degli oggetti. Essi sono fatti generalmente di metallo o di vetro, e la loro superficie dev'esser levigatissima. Gli specchi comuni, quantunque consistano in lastre di vetro o di cristallo sono propriamente specchi metallici, perchè la superficie che per riflessione produce l'immagine degli oggetti, è la foglia di stagnola amalgamata, di cui è ricoperta la lastra, non essendo in generale che pochissima la luce riflessa dalla superficie anteriore del cristallo, in confronto di quella riverberata dal metallo. Il cristallo in questi specchi ha l'ufficio di difendere il metallo dall'azione degli agenti esterni, per cui si ossiderebbe e perderebbe la sua lucentezza, ed inoltre serve a dare alla stagnola amalgamata una superficie bene unita e liscia, e quindi più atta alla riflessione. I migliori di questa specie sono quelli in cui la lastra di cristallo oltre esser ben liscia e regolare nella sua superficie, ha la minor grossezza possibile, affinchè l'immagine prodotta dalla riflessione della superficie anteriore della lastra medesima si confonda con quella ottenuta dalla riflessione del metallo. Infatti cogli specchi antichi che hanno la lastra molto grossa, osservando la fiamma di una candela sotto un piccolo angolo d'inclinazione, si vedono due immagini distinte, l'una prodotta dal cristallo, e l'altra un poco più distante generata dal metallo. Gli specchi metallici si formano principalmente di lega di stagno e rame: quelli per gli istrumenti ottici si compongono di 64 parti di rame e 29 di

stagno, oppure di 32 di rame, 15 di stagno ed una di arsenico.

Vediamo pertanto, come accade la riflessione sugli specchi piani. Si abbia un punto luminoso R situato dinanzi uno specchio AB (*Tav. V, Fig. 145*), il quale mandi dei raggi in tutte le direzioni. Fra questi raggi ve ne sono alcuni, come Rb , RA , che incontrano lo specchio e sono dal medesimo riflessi secondo la legge da noi sopra enunciata, in guisa che l'angolo $l b B$ è eguale all'angolo $R b A$, e l'angolo $p a B$ all'angolo $R a A$. Ciò posto, se si conduce dal punto R la RD perpendicolare allo specchio, e si prolungano i raggi riflessi lb , ap , al di sotto dello specchio fino ad incontrare questa perpendicolare in un punto R' , si formano i triangoli $b D R'$ ed $a D R'$ rispettivamente eguali ai triangoli $b D R$ ed $a D R$, avendo essi un lato comune compreso fra due angoli eguali. Dall'eguaglianza di questi triangoli risulta che RD è eguale a $R'D$, vale a dire che il punto R' è egualmente distante di R dallo specchio. Vedesi adunque come i prolungamenti dei raggi riflessi da uno specchio piano s'incontrano tutti in un punto situato al di dietro dello specchio ad egual distanza dal punto luminoso, ond'è che i raggi riflessi dallo specchio sembrano tutti partiti da questo punto. Se sul cammino dei raggi riflessi trovasi l'occhio dell'osservatore, egli vedrà il punto luminoso in R' , avendo esso l'abitudine di trovare gli oggetti nella direzione dei raggi luminosi che riceve. *Dunque negli specchi piani l'immagine di un punto si produce dietro lo specchio ad una distanza eguale a quella del punto dato e sulla perpendicolare condotta da questo punto allo specchio.*

È perciò evidente, che si avrà l'immagine di un oggetto FK , di una data dimensione, conducendo da ciascun punto di questo oggetto una perpendicolare allo specchio, e prolungandola fuori dello specchio di una quantità eguale alla distanza dello stesso punto dallo specchio (*Tav. V, Fig. 146*). Resulta da questi principj, che le immagini degli oggetti veggonsi negli specchi piani dietro gli specchi medesimi situati alla distanza stessa dallo specchio degli oggetti stessi che le hanno prodotte, e come se lo specchio fosse un vetro traspa-

rente. L'immagine ha la stessa forma e la stessa grandezza dell'oggetto; soltanto è in posizione simmetrica col medesimo, ed è meno lucente perchè lo specchio estingue sempre una certa quantità di luce. La simmetria degli oggetti e delle immagini spiega come una spada, per esempio, che uno porta al fianco sinistro apparisca in uno specchio dal lato destro, e come gli alberi sembrino rovesciati quando si vedono per riflessione nell'acqua.

Se gli oggetti si avvicinano o si allontanano dallo specchio, l'immagine si avvicina o si allontana parimente, talchè il movimento dell'immagine rispetto all'oggetto è doppio. Lo stesso deve dirsi se lasciando fermo il corpo che produce l'immagine, si muove invece lo specchio allontanandolo dall'oggetto. È per questa ragione che un oggetto verticale posto dinanzi ad uno specchio inclinato a 45° , sembra orizzontale. Difatti l'immagine rispetto all'oggetto avrà preso un'inclinazione di 90° .

Allorchè un oggetto è posto fra due specchi paralleli, le due immagini che vi si formano producono altre due immagini, queste altre due, e così di seguito. Cotale immagini perdono successivamente d'intensità, e quindi quelle che appaiono le più lontane rimangono appena visibili. Prendendo per oggetto un disco tinto sulle due facce con due colori diversi, si vedgono le immagini alternativamente di un colore o dell'altro. Il fenomeno precedente si riproduce fra due specchi inclinati, con questa differenza, che il numero delle immagini visibili è allora dipendente dall'angolo degli specchi. Esaminiamo difatto il caso in cui gli specchi facciano un angolo retto (*Tav. VI, Fig. 147*). MC rappresenta la sezione del primo, $M'C$ quella del secondo. Dal punto C della loro comune intersezione si descriva una circonferenza di cui CM e CM' sieno raggi. Un oggetto posto in a produce un'immagine in b per riflessione sopra MC , ed un'immagine in b' per riflessione sopra $M'C$: di più il raggio a il quale dopo essere stato riflesso in x dallo specchio $M'C$, subisce una seconda riflessione in y , sullo specchio MC , fornisce una terza immagine in d . Ne risulta che se si pone un occhio in A per ricevere nello stesso tempo i raggi diretti a quelli che hanno

provato una o due riflessioni, si vedranno quattro immagini del punto a , cioè l'immagine diretta in a , poi le immagini riflesse in b , b' e d . Studiando parimente le riflessioni che si producono sopra due specchi più o meno inclinati fra loro, si vedrebbe che per avere 5, 6, ... 20 immagini dello stesso punto converrebbe dare all'angolo degli specchi $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{6}$, . . . $\frac{1}{20}$ di circonferenza.

Su questa proprietà degli specchi inclinati è formato il *caïdoscopio*, apparato che si compone di un tubo di cartone in cui trovansi due specchi inclinati fra di loro, di 45° . Collocando ad una estremità, fra due lastre di vetro, degli oggetti di forme e colori diversi, come frammenti di vetro, palline di corallo, laminette di semiloro ec., si vedono questi oggetti e le loro sette immagini in modo da presentare un insieme assai svariato e spesso aggradevole.

Riflessione sulle superficie curve. Se la superficie del corpo su cui la luce si riflette, invece di essere piana fosse curva, la riflessione si farebbe come sopra il piano tangente al punto d'incidenza. Un raggio di luce HA cada sul punto A di una superficie curva qualunque DAE o FAG (Tav. VI, Fig. 148): la sua riflessione accadrà precisamente come se fosse caduto sulla superficie piana BAC tangente al punto d'incidenza; cioè a dire che se s'immagina inalzata dal punto d'incidenza una perpendicolare sul piano BAC , il raggio riflesso KA passerà sul piano contenente questa perpendicolare ed il raggio incidente, e, di più, l'angolo d'incidenza HAI , sarà eguale all'angolo di riflessione KAI .

Riflessione sugli specchi sferici. Le callotte di una sfera vuota, a superficie levigatissime, supposta divisa da un piano, costituiscono degli specchi sferici, che sono concavi o convessi, secondo che si prende in considerazione la loro superficie interna ovvero l'esterna. L'apertura dello specchio è l'angolo dei due raggi Cm e Cm' condotti ai margini opposti della callotta (Tav. VI, Fig. 149); il suo diametro è la linea mm' , che congiunge i due margini opposti della callotta; il suo asse è la linea OC condotta dal centro O della callotta al centro C della sfera. Il punto a chiamasi anche *centro di figura dello specchio*, il punto C *centro di curvatura*, e il punto O

centro ottico. Esaminiamo successivamente come ha luogo la riflessione sugli specchi concavi, e sugli specchi convessi.

Riflessione sugli specchi concavi. Sieno hM , ac due raggi incidenti paralleli, i quali cadano sullo specchio concavo UMP (Tav. VI, Fig. 150). Conducendo le tangenti ts , o cy ai punti d'incidenza, e dal punto c la secante nz parallela a ts , osserveremo che se l'incidenza del raggio ac si facesse sulla secante nz ; Mg essendo il raggio riflesso appartenente al raggio incidente hM , la linea ck parallela a Mg sarebbe il raggio riflesso del raggio incidente ac . Se ora si considera l'incidenza del raggio ac sulla tangente oy , è evidente che si avrà l'angolo kcy più piccolo dell'angolo d'incidenza aco . Dunque per dare a ck la posizione che conviene alla riflessione sopra oy , bisogna aumentare l'angolo kcy , e conseguentemente il raggio riflesso, quale si è cb , convergerà con Mg e lo taglierà.

Supponiamo che ac restando fisso all'estremità c , s'allontani dal raggio Mh colla sua estremità a , nel qual caso i raggi incidenti convergeranno: l'angolo d'incidenza aco essendo aumentato, bisognerà che l'angolo di riflessione bcy aumenti anch'esso, onde segue che i raggi riflessi convergeranno maggiormente dei raggi incidenti, poichè questi sono partiti dal parallellismo, ove la convergenza era nulla, mentre che cb convergeva già con Mg . Se invece ac si avvicina ad hM colla sua estremità a , nel qual caso i raggi incidenti divergeranno, allora l'angolo d'incidenza aco trovandosi diminuito, l'angolo di riflessione bcy diminuirà anch'esso; onde avviene che i raggi riflessi Mg , cb convergeranno sempre meno, a misura che ac s'inclinerà sopra hM , di modo che ad un certo punto Mg e cb diverranno paralleli, e al di là di questo punto saranno essi stessi divergenti, benchè in minor grado dei raggi incidenti che sono partiti dal parallelismo. Quanto abbiamo esposto contiene lo sviluppo e la prova dei seguenti principj: *la riflessione sulle superficie concave sferiche rende convergenti i raggi che erano paralleli prima della loro incidenza, aumenta la convergenza di quelli che già convergevano, ed in quanto ai raggi divergenti, può, a seconda delle circostanze, renderli convergenti, paralleli, ed anche divergenti, benchè sempre in minor grado dei raggi incidenti.*

Consideriamo adesso la riflessione di due raggi incidenti ns , rp (Tav. VI, Fig. 151) paralleli fra loro ed all'asse dello specchio e situati ad egual distanza da questo; avendo condotto un raggio Cs al punto d'incidenza del raggio ns , noi avremo l'angolo Csn , eguale all'angolo Csm , poichè questi angoli sono i complementi degli angoli d'incidenza e di riflessione nsy e msl ; inoltre a motivo di ns parallela a CA l'angolo Csn è eguale a sCm , dunque il triangolo Cms è isoscele, per cui ms è uguale a Cm , e poichè ms è maggiore di mA , si avrà ancora Cm maggiore di mA , dunque i raggi paralleli ns , rp si rifletteranno sempre in un punto situato al di sotto della metà superiore Cf del raggio CA . Ora se si suppone che i raggi ns , rp si avvicinino per gradi eguali al raggio della sfera, il punto m , in cui si fa la riflessione, si avvicinerà pure al punto f , dimodochè quando non saranno che ad una distanza infinitamente piccola di CA , il punto in cui si rifletteranno si confonderà semplicemente col punto f . D'altronde, se s'immaginano differenti raggi incidenti ns , db , ki ec. ec. (Tav. VI, Fig. 152) tutti paralleli all'asse ed egualmente distanti gli uni dagli altri, gli angoli d'incidenza di quelli che sono sensibilmente distanti dall'asse, differiranno molto più fra loro a misura che se ne allontaneranno, di quelli dei raggi vicini allo stesso asse, perchè le inclinazioni dei piccoli archi sui quali cadono i primi raggi vanno rapidamente crescendo, mentre che in vicinanza dell'asse, gli archi poco si allontanano dalla direzione perpendicolare relativamente ai raggi che loro corrispondono. Segue da ciò che in un fascio di raggi che cadono parallelamente al raggio della sfera sulla curvatura OAG , tutti quelli che sono poco distanti dall'asse concorrono dopo la loro riflessione sopra un piccolissimo spazio situato presso a poco al mezzo f del raggio della sfera. Si considera questo piccolo spazio come un punto che chiamasi *fuoco dei raggi paralleli* o *fuoco principale*. Adunque, allorquando uno specchio sferico ha una piccola apertura la quale non superi gli 8 o i 10 gradi, il fuoco dei raggi paralleli è posto sulla metà del raggio di curvatura, mentre che quando lo specchio sferico ha una apertura più

grande, la riunione dei raggi riflessi non occupa uno spazio così piccolo da poter esser considerato come un punto.

La formazione del fuoco dei raggi luminosi paralleli può mostrarsi sperimentalmente, dirigendo verso il sole l'asse di uno specchio concavo. I raggi solari riescono paralleli all'asse e riflettendosi sullo specchio vengono ad intersecarsi e a concentrarsi in un punto, dove generano non solo una piccolissima e vivissima immagine del sole, ma ben anco un tal concentramento di calore, da abbruciare ed infiammare dei corpi combustibili come l'esca, la carta, il legno ec. Su questa proprietà, è fondata la costruzione degli *specchi ustori* o *ardenti*, impiegati a produrre la combustione per mezzo del calor solare. Dopo ciò che abbiamo detto degli specchi concavi, è chiaro che aumentando le dimensioni dello specchio non se ne aumenterebbe proporzionalmente l'effetto. Gli specchi ustori si formano di differenti sostanze. I migliori sono quelli di vetro stagnato; ed il Bernière, che ha immaginato un metodo per curvare il vetro a tale uso ne costruì uno di metri 1,056 di diametro, il quale era capace di fondere il ferro. Kirker ha immaginato di sostituire ad uno specchio curvo, una riunione di specchi piani disposti in modo da determinare la riunione dei fasci luminosi in uno stesso punto. Il Buffon fece costruire uno specchio poligono composto di 168 specchi suscettibili di muoversi in tutti i sensi, di modo che essendo padrone di variare la mutua loro inclinazione poteva portarne il fuoco a differenti distanze. Questo specchio bruciava il legno a 100 piedi, e fondeva il piombo ed il rame a 45 piedi. Queste esperienze del Buffon rendono meno improbabile ciò che le storie ci narrano dell'incendio operato da Archimede delle navi di Marcello all'assedio di Siracusa.

Esaminiamo adesso le circostanze della riflessione dei raggi luminosi divergenti che partono da un punto luminoso A , situato sopra un punto qualunque dell'asse dello specchio concavo MN . Sieno questi raggi AM , AN (*Tav. VI, Fig. 153*); essi saranno riflessi nelle direzioni Mf , Nf ec., essendo gli angoli di riflessione CMf , CNf eguali agli angoli d'incidenza AMC , ANC . Si vede che in questo caso, la distanza focale fD è maggiore della distanza focale FD dei

raggi paralleli. Se noi avviciniamo col pensiero il punto luminoso A al centro C dello specchio, i raggi incidenti AM , AN si ravvicineranno sempre maggiormente alle perpendicolari CM , CN , onde avverrà lo stesso ai raggi riflessi, i quali perciò convergeranno più da vicino al centro C dello specchio. In fine se noi supponiamo il punto luminoso A situato al centro della sfera C , il fuoco si troverà pure situato allo stesso punto. In altri termini, allorquando dei raggi divergenti partono dal centro d'uno specchio concavo, sono tutti riflessi in quello stesso punto.

Se i raggi partono da un punto luminoso posto fra il punto C ed il fuoco principale F , essi convergeranno dopo la riflessione e si riuniranno in un fuoco situato al di là del centro dello specchio. Supponiamo che partano p. es. dal punto f , essi si riuniranno dopo la riflessione al punto A . I punti A ed f riguardati sotto questo punto di vista, hanno ricevuto il nome di *fuochi coniugati*, poichè se l'uno di questi punti rappresenta il punto luminoso, l'altro diviene necessariamente il fuoco.

Se i raggi partono da un punto luminoso f' situato più vicino allo specchio che il fuoco principale F (Tav. VI, Fig. 154) essi divergeranno dopo la riflessione, e seguiranno le direzioni MA , NA . Sembreranno quindi partiti dal punto A' situato dietro lo specchio. Questo punto nel quale i raggi s'incontrerebbero, se potessero essere prolungati indietro, è chiamato *fuoco virtuale o immaginario*.

Infine, se il punto luminoso è posto al fuoco principale F (Tav. VI, Fig. 155) i raggi incidenti saranno riflessi parallelamente. In questo caso il fuoco è ad una distanza infinita, poichè i raggi riflessi non potranno mai incontrarsi. È per questa ragione che gli specchi concavi sono anche adoprati a diffondere a grandi distanze la luce proveniente da un corpo luminoso. La luce riflessa da uno di questi specchi, proveniente da una sorgente situata al suo fuoco, essendo i suoi raggi paralleli fra loro, conserva sempre un'eguale intensità se non viene indebolita dall'assorbimento cui può andar soggetta per cagione del mezzo che attraversa. Uno specchio concavo destinato a tale uso dicesi *specchio collettore*.

Se un punto luminoso A' fosse situato in un modo qualunque fuori dell'asse dello specchio (*Tav. VI, Fig. 153*) MN , la riflessione dei suoi raggi si farebbe nella stessa guisa dei casi precedenti. Solamente conviene allora condurre per questo punto e pel centro di curvatura C una linea $A'CB$, la quale chiamasi *diametro* o *asse secondario*, ed è rapporto a quest'asse che si produrranno i fenomeni sopra descritti, cioè a dire che i punti A' ed F' saranno situati su di esso come i punti A ed f sull'asse principale.

In tutte le applicazioni pratiche dei casi osservati, il fuoco d'uno specchio concavo può esser determinato colla regola seguente, supponendo conosciuti il raggio dello specchio e la sua distanza dal punto luminoso. Basta moltiplicare la distanza del punto luminoso dallo specchio pel raggio di questo, e dividere questo prodotto per la differenza fra due volte la distanza del punto luminoso ed il raggio dello specchio: il quoziente rappresenta la distanza focale. Non bisogna dimenticare nell'applicazione di questa regola che se il doppio della distanza del punto luminoso allo specchio è minore del raggio, il fuoco si troverà situato dietro lo specchio, e non sarà che un fuoco immaginario.

Formazione delle immagini sugli specchi concavi. Sia MN uno specchio concavo (*Tav. VI, Fig. 156*) il cui centro sia in C . Sia AB un oggetto posto a qualche distanza al di là del centro di questo specchio. Per trovare l'immagine dell'oggetto AB ci convien cercare i fuochi di ciascuno dei punti di cui è composto. Cerchiamo prima i fuochi dei punti estremi A e B . Noi sappiamo che il fuoco del punto A si troverà situato sull'asse secondario AN , che passa per questo punto e pel centro dello specchio, allora tracciando dal punto A un raggio incidente qualunque AE , si conduce al punto d'incidenza la normale CE e si costruisce l'angolo di riflessione CEa eguale all'angolo d'incidenza AEC . Il punto a ove il raggio riflesso taglia l'asse secondario AN è il fuoco coniugato del punto A , imperocchè qualunque altro raggio partito da questo punto va a concorrere in a . Parimente il fuoco del punto B sarà situato in b , sull'asse secondario corrispondente BM , ed il fuoco del punto D si troverà sull'asse

principale in d . Dunque i fuochi di tutti i punti intermedi compresi fra A e B , o in altro termine l'immagine dell'oggetto AB sarà compresa fra i due punti estremi a e b .

La sola ispezione della figura basta a dimostrare che nel caso da noi esaminato, l'immagine è reale, rovesciata e più piccola dell'oggetto. Inoltre è chiaro, dopo ciò che dicemmo intorno alla posizione dei fuochi, che essa è posta fra il centro di curvatura ed il fuoco principale. Se si vorrà ottenere un'immagine più grande dell'oggetto, basterà porre l'oggetto in $a b$, tra il fuoco principale ed il centro dello specchio e si vedrà un'immagine ingrandita in AB . Se si pone l'oggetto nel fuoco principale non si avrà alcuna immagine, perchè allora i raggi emessi da ciascun punto, formano dopo la riflessione altrettanti raggi paralleli all'asse secondario condotto dal punto da cui sono emessi, e quindi non possono produrre nè fuochi nè immagini. Se lo specchio concavo è molto grande e l'oggetto AB molto lucente, come una piccola statua di gesso fortemente illuminata, l'immagine ab , apparirà sospesa nell'aria, e si potrà fare una serie di esperienze interessanti variando la distanza dell'oggetto, ed osservando i cambiamenti corrispondenti nella grandezza e posizione dell'immagine.

Se poi l'oggetto AB è collocato tra il fuoco principale e lo specchio (*Tav. VI, Fig. 157*), siccome i raggi AD , AK dopo la riflessione prendono le direzioni DT e KH , i loro prolungamenti vanno a formare in a un'immagine virtuale del punto A . Parimente l'immagine di B si forma in b , e l'occhio vede in ab l'immagine di AB . Questa immagine è necessariamente virtuale, diritta, più grande dell'oggetto, ed ingrandisce a misura che questo si avvicina allo specchio. Sulla formazione delle immagini virtuali al di dietro degli specchi concavi, è fondata la costruzione di quegli specchi di cui si fa uso nel radersi la barba, e che molto ingrandiscono gli oggetti che vi si collocano da presso.

Riflessione sugli specchi convessi. La riflessione della luce sugli specchi convessi accade in senso inverso che sugli specchi concavi. Prolungando dietro la superficie concava i raggi incidenti e i raggi riflessi relativi a questa superficie, si avrà la ripetizione degli stessi angoli d'incidenza e di riflessione

relativamente alla superficie convessa su delle tangenti comuni, con questa differenza, che i raggi che erano considerati come convergenti nel primo caso, saranno divergenti nel secondo, e reciprocamente. Per esempio, se si prolungano dietro la superficie UCZ i raggi hm , aC , gm , bc , i raggi incidenti relativi alla convessità della superficie saranno $h'm$, $a'C$, paralleli fra loro come i primi, e i raggi riflessi saranno $m'g'$, Cb' , che divergeranno fra loro. Dopo ciò i principj relativi alla riflessione sugli specchi convessi deduconsi da quelli che hanno rapporto alla riflessione sulle superficie concave, con una semplice inversione di termini, dimodochè dovranno essere enunciati nel modo seguente. *La riflessione sulle superficie convesse rende divergenti i raggi che erano paralleli prima della loro incidenza; aumenta la divergenza di quelli che già erano divergenti, e relativamente ai convergenti, può secondo le circostanze, renderli divergenti o paralleli, od anche convergenti; ma in minor grado dei raggi incidenti.*

Nello stesso modo, la riflessione dei raggi paralleli fra loro, ed all'asse dello specchio, si farà in guisa, che se si prolungano i raggi riflessi al di sotto della convessità, andranno a riunirsi in un punto situato fra il mezzo del raggio della sfera ed il punto in cui questo raggio taglia la superficie riflettente, ed applicando qui il ragionamento che abbiamo fatto relativamente alla riflessione sopra una superficie concava, se ne concluderà che in un fascio di raggi che cadono sopra una superficie convessa paralleli fra loro ed all'asse, quelli che sono vicini a quest'asse tenderanno a riunirsi in un fuoco immaginario, situato presso a poco alla metà del raggio della sfera, e che è il *fuoco principale virtuale* degli specchi convessi. Quindi è che allorquando si presenta al sole uno specchio convesso, non si forma innanzi alla sua superficie veruna concentrazione nè di luce, nè di calore; anzi si scorge distintamente che nella sua riflessione la luce si è molto indebolita, ed all'occhio situato dinanzi allo specchio sembra che provenga da un piccolo punto luminoso posto di dietro, che è appunto l'immagine del sole situata nel fuoco virtuale dello specchio.

Se i raggi luminosi incidenti, invece di essere paralleli all'asse, partono da un punto situato sull'asse stesso ad una

distanza finita, si scorge facilmente che il loro fuoco è pure virtuale, ma che si forma tra il fuoco principale e lo specchio.

Formazione delle immagini negli specchi convessi. Sia $A B$ un oggetto collocato dinanzi ad uno specchio convesso, ad una distanza qualunque (Tav. VI, Fig. 158). Conducendo gli assi secondarj $A C$ e $B C$, è chiaro, dopo quanto abbiamo detto sulla riflessione sugli specchi convessi, che tutti i raggi emessi dal punto A divergeranno maggiormente dopo la riflessione e formare un fuoco virtuale in a , e quindi l'immagine virtuale del punto A . Lo stesso è a dirsi dei raggi emessi dal punto che anderanno a B , i quali anderanno a produrre in b un'immagine virtuale di questo punto. Quindi l'occhio che riceve i raggi divergenti $D E$, $K H$ vede in $a b$ un'immagine di $A B$. Da questa costruzione risulta che l'immagine di un oggetto situato dinanzi ad uno specchio convesso è sempre virtuale; più piccola del vero, dritta, e sembra avvicinarsi allo specchio a misura che l'oggetto se ne allontana.

L'immagine piccola e dritta di noi stessi che vediamo negli occhi altrui deriva da ciò, che la cornea agisce a guisa di uno specchio convesso.

Aberrazione di sfericità per riflessione. Nella teoria che abbiamo esposta intorno alla formazione dei fuochi e delle immagini negli specchi sferici, abbiamo già notato che i raggi riflessi vanno sensibilmente a concorrere verso un unico punto sol quando l'apertura dello specchio non sorpassi 8° o 10° . Per un'apertura più grande, i raggi riflessi in vicinanza dei lembi incontrano l'asse a minor distanza dallo specchio di quelli che sono riflessi presso al centro di figura. Perciò invece di un sol fuoco se ne ha una serie per ogni punto lucido, e quindi si genera una moltitudine d'immagini degli oggetti che si vogliono guardare con siffatti specchi, le quali sovrapponendosi impediscono all'occhio di vederne una distintamente; e questa confusione dicesi *aberrazione di sfericità per riflessione*, onde distinguerla dalla aberrazione di sfericità per refrazione che presentano le lenti. Siccome i raggi riflessi si tagliano successivamente a due a due, come vedesi al disopra dell'asse $F L$ (Tav. VI, Fig. 159), così i loro punti d'intersezione formano nello spazio una superficie brillante che si chiama cau-

stica per riflessione. La curva *F M* rappresenta uno dei rami della sezione meridiana di questa superficie.

Specchi di curvatura diversa dalla sferica. Possono gli specchi avere curvature diverse dalla sferica e le apparenze delle immagini che vi si formano variano più o meno secondo la natura delle curve. Supponiamo per esempio uno specchio cilindrico convesso. È chiaro che questo dovrà far vedere le immagini impiccolite secondo il suo diametro, ed inalterate secondo la sua lunghezza, ossia questo specchio essendo convesso per un verso e piano per un altro, darà le immagini impiccolite solo nel verso del diametro o solo nel verso delle altezze. Si ha l'arte di disegnare delle figure deformi, le quali guardate in uno specchio cilindrico o conico compariscono regolari, nel modo che abbiamo rappresentato nella Fig. 160, Tav. VI. Lo specchio ha conservato all'immagine la sua vera grandezza nel verso dell'altezza, ma l'ha molto rimpiccolita nel verso della larghezza, talchè essa rappresenta una figura regolare. A questo genere di esperienze si dà il nome di *anamorfosi*. Con questi principj s'intende facilmente la ragione di molte apparenze ottiche assai comuni; così per esempio la deformazione che subisce la nostra immagine quando ci guardiamo in una boccia piena di liquido, proviene dal rappresentare questa uno specchio cilindrico; e quei riflessi di luce che si scorgono sulle campane di vetro, sulle armi forbite ec., altro non sono che immagini più o meno contraffatte del sole, delle finestre ec., provenienti dalle svariate curvature di quelle superficie.

3.ª Diottrica o della refrazione della luce.

Quando la luce giunge alla superficie di separazione di due mezzi diafani, una porzione si riflette nel mezzo da essa percorso, un'altra penetra nel secondo mezzo, ma prova una deviazione. Questa deviazione dicesi *refrazione*, e la luce così deviata dicesi *refratta*.

La condizione essenziale perchè la luce venga refratta nel suo passaggio da un dato mezzo in un altro, si è che la sua direzione sia obliqua al piano che separa i due mezzi.

La refrazione di un raggio di luce può accadere in due circostanze diverse che prenderemo successivamente in considerazione. 1.^o Quando la luce passa da un mezzo meno refrangente in uno più refrangente, come dall'aria nell'acqua o nel vetro. 2.^o Quando passa da un mezzo più refrangente in uno meno refrangente, come per esempio dall'acqua o dal vetro nell'aria.

Primo caso. *Ogni qualvolta un raggio di luce passa da un mezzo in un altro più refrangente, esso è deviato dalla sua primitiva direzione e si avvicina alla perpendicolare abbassata al punto d'incidenza, sulla superficie di separazione dei due mezzi.* Sia AB (Tav. VI, Fig. 161) la linea di separazione dei due mezzi trasparenti che supporremo per esempio essere l'aria e l'acqua; SC sia un fascio luminoso ed EF la normale alla superficie dell'acqua. La luce entrando nell'acqua, invece di progredire da SC in x pel cammino rettilineo SCx , piega e prende la direzione CR , secondo la quale si propaga finchè non esce da questo mezzo. Questo piegamento è appunto la refrazione del raggio incidente SC ; CR è il raggio refratto, $SC E$ l'angolo d'incidenza, $RC F$ l'angolo di refrazione, Cx il raggio diretto, RCx l'angolo refratto o la deviazione. Inoltre ACS è il piano d'incidenza, e BCR quello di refrazione. Colla ispezione della figura si vede che nel caso contemplato il raggio refratto, si avvicina alla perpendicolare abbassata al punto d'incidenza sulla superficie di separazione dei due mezzi, quindi che l'angolo d'incidenza è necessariamente più grande dell'angolo di refrazione.

Secondo caso. *Ogni qual volta un raggio passa da un mezzo in un altro mezzo meno refrangente, è deviato dalla sua direzione primitiva, e si allontana dalla perpendicolare abbassata al punto d'incidenza sulla superficie di separazione.* Supponiamo che il raggio AB (Tav. VI, Fig. 162) passi dal vetro V nell'aria L ; questo raggio invece di seguire la sua primitiva direzione BS , sarà deviato nella direzione BH , allontanandosi dalla perpendicolare BE . In questo caso l'angolo d'incidenza ABF è sempre più piccolo dell'angolo di refrazione EBH .

È facile verificare per mezzo della esperienza il fenomeno della refrazione. Se si colloca un occhio in O (Tav. VI, Fig. 163)

di fianco ad un vaso vuoto $ABMN$, non si vede che la parte AP del suo fondo, essendo P il punto che manda all'occhio il fascio luminoso OM tangente all'orlo opaco del vaso, e che fa coll'orizzonte l'angolo maggiore. Ma empiedo d'acqua il vaso e tenendo l'occhio sempre allo stesso punto, si vede una parte del fondo sempre più estesa; sembra che il punto P s'alzi verticalmente in p , ed un altro punto P' è quello che vedesi in p' nella direzione limite OM . Perciò se fra P e P' si sarà collocato un oggetto lucente, come per esempio una moneta, questa mentre non era visibile all'occhio situato in O , allorquando il vaso era vuoto, diverrà visibilissima tosto che il vaso sarà empito di acqua. Dunque il fascio luminoso che va da P all'occhio ha provato una deviazione tale che sembra emanare da p , punto elevato di P nel medesimo piano verticale condotto per OM . Questa deviazione non può aver luogo che in I alla superficie stessa del liquido, poichè la luce si propaga in linea retta finchè non cangia il mezzo per cui passa. La luce venuta in I dal punto P situato nell'acqua s'inclina adunque seguendo la direzione IO appena entra nell'aria, ma senza uscire dallo stesso piano verticale. Del pari la luce venuta in M dal punto P' si propaga prendendo la direzione MO , più di $P'M$ inclinata all'orizzonte. Da questa esperienza si deduce facilmente che un fascio luminoso uscendo dall'acqua per entrare nell'aria cambia direzione accostandosi alla superficie di separazione dei due mezzi; ma in guisa che i raggi incidenti ed emergenti sieno nello stesso piano normale a questa superficie.

La stessa conclusione si deduce da quest'altro fatto, cioè che un bastone diritto CD (*Tav. VI, Fig. 164*) immerso in parte nell'acqua sembra spezzato in K alla superficie del liquido, imperocchè per l'occhio situato in C , l'estremità D sembra sollevata in d , nel piano verticale che passa per CD , d'onde segue che I , essendo il punto d'intersezione della retta Cd col piano di livello MN , la luce che giunge in I da D s'inclina secondo IC nell'entrare che fa nell'aria.

Resulta da quanto precede relativamente alla refrazione dei raggi che sortono dall'acqua per entrare nell'aria, che quando osserviamo obliquamente gli oggetti posti nel fondo

dell'acqua, non li vediamo mai nella loro vera posizione, ma sempre più elevati, ed è a motivo di questa illusione ottica, la quale fa supporre che l'acqua sia meno profonda di quello che è realmente, che spesso sono accaduti degli annegamenti.

La refrazione della luce c'impedisce di vedere i corpi celesti nella loro effettiva posizione, giacchè la luce che ci mandano è refratta nel suo passaggio nell'atmosfera. Noi vediamo adunque il sole e le stelle nella direzione del raggio refratto, nel modo indicato dalla figura 163 della Tavola VI. L'arco $E' B' E'$ rappresenta il limite dell'atmosfera sopra una porzione $E B E$ della terra: un raggio di luce che viene dal sole S cade sulla atmosfera obliquamente in A , ed è refratto in B ; e poichè noi vediamo l'oggetto nella direzione del raggio refratto, uno spettatore posto in B vedrà l'immagine del sole in C , invece di vederla al suo posto effettivo S . Perciò noi vediamo tutti gli astri più elevati al di sopra dell'orizzonte di quello che lo sono realmente; quindi è che un astro situato all'orizzonte parrà al di sopra del medesimo, ed un altro situato al di sotto parrà sull'orizzonte, per cui ci sarà visibile, mentre sarebbe invisibile se i suoi raggi non fossero deviati. Da ciò deriva che noi vediamo il sole quando non è ancora sopra, o quando è già sotto all'orizzonte, ond'è che la refrazione dei raggi solari nel loro passaggio attraverso l'atmosfera, accresce la durata del giorno.

I fenomeni di deviazione di cui abbiamo fin qui parlato appartengono alla *refrazione semplice*, così chiamata per distinguerla dalla *refrazione doppia*, che è propria di certi corpi trasparenti, i quali dividono in due il raggio incidente. Di questa specie di refrazione parleremo in seguito. Per ora studieremo le leggi della refrazione semplice.

Leggi della refrazione semplice. Le leggi della refrazione semplice sono le seguenti:

1.^o il raggio incidente ed il raggio refratto sono nello stesso piano della normale condotta alla superficie di separazione dei mezzi al punto di concorso dei due raggi;

2.^o il rapporto fra il seno dell'angolo d'incidenza e quello dell'angolo di refrazione è costante per gli stessi corpi, qualunque sia l'incidenza;

3.° se il raggio refratto retrocedesse dal mezzo più denso al meno denso, percorrerebbe esattamente la stessa strada che ha seguito nell'entrare.

Il rapporto tra il seno dell'angolo d'incidenza, e quello dell'angolo di refrazione chiamasi *indice di refrazione*. L'indice di refrazione è assai diverso secondo i varj corpi. Se un raggio entra dall'aria nell'acqua, il rapporto o indice è $\frac{4}{3}$; il qual rapporto significa che sotto qualunque incidenza il seno dell'angolo d'incidenza sta al seno dell'angolo di refrazione come 4 : 3; se il raggio entra dall'aria nel vetro comune l'indice di refrazione è $\frac{3}{2}$. Questi rapporti sono costanti per ciascuna sostanza, qualunque sia l'incidenza. Raddoppiando, triplicando il valore del seno dell'angolo d'incidenza, si raddoppia e si triplica anche il valore del seno dell'angolo di refrazione.

Descartes, che è lo scopritore di questa legge, giunse a stabilirla adoperando un vaso emisferico di vetro ripieno di acqua. Faceva giungere un raggio solare nel centro; misurava per mezzo di un cerchio graduato l'angolo d'incidenza; poi misurava l'angolo di refrazione sul contorno del vaso per mezzo dello stesso cerchio graduato.

La legge di Descartes si esprime colla semplicissima formola $\frac{\text{Sen } I}{\text{Sen } R} = n$, in cui I è l'angolo d'incidenza che fa il raggio colla normale, ed R l'angolo di refrazione che fa il raggio refratto colla normale stessa.

Da questa formola si deduce ciò che deve accadere quando il raggio cade normalmente sul secondo mezzo. Il seno di un angolo zero è zero; e quindi in questo caso anche $\text{Sen } R$ ed R sono eguali a zero. In altri termini il raggio che cade normalmente non è deviato; e ciò può verificarsi facilmente coll'esperienza.

Se invece l'angolo d'incidenza è il massimo, ossia eguale a 90° , nel qual caso il raggio cade parallelamente alla superficie di separazione dei due mezzi, essendo $\text{Sen } 90^\circ = 1$, si ha $\frac{1}{\text{Sen } R} = n$, da cui può dedursi che $\text{Sen } R = \frac{1}{n}$.

Il valore R dell'angolo di refrazione pei raggi che si presentano paralleli alla superficie, e ciò che dicesi *angolo limite*;

per l'acqua quest'angolo è $\approx 48^\circ, 35'$. Si deduce da ciò una importante conseguenza. Poichè il raggio che va dall'acqua all'aria retrocede per la via che ha percorso nell'entrarvi, si intende facilmente che un raggio che dall'acqua entri nell'aria, facendo colla normale un angolo di $48^\circ, 35'$, escirà parallelamente alla superficie di separazione dei due mezzi. Se l'angolo che fa il raggio nell'acqua colla normale è maggiore di $48^\circ, 35'$, è chiaro che il raggio in questo caso non potrà più uscire: da ciò il nome di angolo limite a quello di $48^\circ, 35'$. Accadrà in questo caso che la luce si rifletterà nell'interno del liquido. Si avrà allora il fenomeno della *riflessione totale*: i raggi che non possono emergere dal mezzo che traversano, a motivo dell'eccesso della loro obliquità, si riflettono totalmente seguendo le leggi ordinarie della riflessione. Pel vetro l'angolo limite è stato trovato compreso fra $41^\circ, 49'$ e $40^\circ, 20'$. Ora se si lavori un cilindro di vetro $a b c d$ coll'estremità $a b$ terminata in piano perpendicolare all'asse, e coll'opposta nel piano $c d$ inclinato di circa 48° coll'asse medesimo, (*Tav. VI, Fig. 166*) rivolgendolo direttamente verso il sole, i raggi luminosi non passano attraverso di esso dall'estremità $a b$ per quella opposta $c d$. Si può costruire un apparecchio apposito per meglio fare l'osservazione, applicando il cilindro in questione a sfregamento dentro il tubo di ottone $A B C D$ per rivolgerlo verso il sole, come si farebbe di un canocchiale, senza che l'occhio posto al foro della parte $C D$ del tubo sia abbagliato. I raggi solari, come $s r$ entrano per la faccia $a b$ del cilindro di vetro parallelamente all'asse, e giungono sull'opposta $c d$, facendo colla faccia stessa l'angolo di 48° , per cui l'incontrano sotto l'angolo d'incidenza di 42° che è il complemento di 48° . Ora l'angolo di 42° è maggiore dell'angolo limite sunnotato pel vetro, e quindi quei raggi non potranno penetrare per $c d$ nell'aria, ma ne saranno riflessi nella direzione $r t$.

Refrazione in un mezzo refrangente terminato da due superficie parallele. I raggi di luce che traversano un mezzo refrangente terminato da due superficie parallele; come per es. una lastra di vetro, uno strato d'acqua contenuto in un recipiente le cui facce sono parallele, emergono parallelamente ai raggi incidenti. Difatti essi subiscono due refrazioni; l'una all'entrare

e l'altra all'uscire del mezzo refrangente; e poichè le due facce sono parallele, l'angolo che nell'uscire fanno colla faccia da cui emergono è eguale a quello d'incidenza. Sia per esempio $A A$ una lastra di vetro (*Tav. VI, Fig. 167*) percossa sopra una delle sue superficie dal raggio $B C$ incidente al punto C . Questo raggio si avvicina alla perpendicolare ed è refratto in D . Giunto al punto D rientra nell'aria ed è nuovamente refratto nella direzione $D E$, allontanandosi dalla perpendicolare quanto se ne era accostato nella prima deviazione. Resulta adunque che i raggi $B E$ e $D C$ debbono esser paralleli.

Questo non toglie però che gli oggetti osservati attraverso alle grosse lastre di vetro o alle masse d'acqua terminate da superficie parallele non sieno visti spostati e ravvicinati. Se però le lastre di vetro hanno una piccola grossezza si può dire che non alterino la posizione degli oggetti, poichè i due raggi paralleli $B C$, $D E$ saranno tanto vicini che sembreranno presso a poco situati sulla stessa linea. Egli è per questo che la refrazione delle sottili lastre di vetro è presso a poco nulla.

Refrazione della luce attraverso i prismi. Un prisma in ottica, è un mezzo diafano terminato da due superficie piane, levigate ed inclinate fra loro. Il vertice del prisma è la linea che unisce le due facce; o che le unirebbe se fossero sufficientemente prolungate. La base del prisma è un piano qualunque opposto al vertice, sia che esista realmente, sia che si supponga soltanto la sua esistenza. L'angolo refrangente del prisma è quello formato dalle due facce inclinate. Una sezione principale è una sezione fatta da un piano perpendicolarmente allo spigolo che costituisce il vertice. Nella maggior parte delle esperienze s'impiegano dei prismi a tre facce rettangolari $a b'$, $a c'$ e $b c'$ (*Tav. VI, Fig. 168*). Quando la luce traversa le facce $a b'$ e $b c'$, lo spigolo $b b'$ è il vertice, e la faccia $a c'$ è la base; quando traversa $a c'$ e $b c'$, $c c'$ è il vertice ed $a b'$ è la base. La sezione principale di un tal prisma è sempre un triangolo, e secondo che questo triangolo è rettangolo, equilatero, isoscele o scaleno si dice che il prisma è pure tale. Questi prismi sono generalmente montati sopra un piede di rame (*Tav. VI, Fig. 169*). Per mezzo dell'asta t si possono più o meno inalzare, e per mezzo del ginocchio g si

può dar loro tutte le posizioni che l'esperienza richiedono. Vediamo adesso come il prisma devia la luce.

Sia li un raggio luminoso che cade sopra la faccia as di un prisma triangolare di vetro o di un altro corpo trasparente qualunque, e supponiamo che si trovi in un piano perpendicolare alle due facce, cioè in una sezione principale del prisma (*Tav. VI, Fig. 170*). Il raggio li si refrange nel prisma avvicinandosi alla normale ni che si suppone prolungata nel prisma stesso. Si presenta alla faccia sa' per uscirne, ed esce refrangendosi di nuovo allontanandosi cioè dalla normale $i'n$ e prendendo la linea $i'e$. L'effetto del prisma è dunque di allontanare il raggio emergente dalla sommità del prisma, e poichè l'immagine refratta trovasi sul prolungamento di $i'e$ ne segue che gli oggetti veduti attraverso di un prisma sembrano più elevati, l'angolo che fa il raggio emergente coi raggi paralleli al raggio incidente si chiama la *deviazione* prodotta dal prisma. Se si suppone l'oggetto molto lontano, l'occhio posto nella direzione del raggio emergente potrà scorgere nello stesso tempo l'immagine diretta e l'immagine refratta. L'angolo che fanno tra loro queste due immagini forma la deviazione prodotta dal prisma. Questa deviazione crescerà crescendo l'angolo asa' , o l'angolo refrangente del prisma; essa dipenderà ancora dall'angolo d'incidenza dei raggi o dall'indice di refrazione della sostanza che compone il prisma. Se l'angolo refrangente del prisma fosse doppio dell'angolo limite, è certo che non vi sarebbe raggio che uscisse dal prisma. Infatti i raggi che cadono parallelamente alla superficie as dovrebbero refrangersi, venendo a fare colla normale un angolo eguale all'angolo limite. Ora essendo l'angolo refrangente del prisma doppio di quest'angolo, l'angolo di refrazione xiy sarebbe eguale all'angolo isx , metà dell'angolo refrangente del prisma; e siccome gli angoli xiy e xis formano insieme un angolo retto, è chiaro che anche gli angoli xis ed isx sommati insieme formeranno un angolo retto. Perciò l'angolo ixs che il raggio refratto fa colla retta sy che divide per metà l'angolo refrangente del prisma sarà pure retto. Da ciò apparisce chiaramente che l'angolo xie che il raggio refratto fa colla normale all'uscire del prisma

è eguale all'angolo limite. Non potrebbe perciò escirne quel raggio, o almeno sarebbe l'ultimo di quelli che possono escirne: tutti gli altri raggi incidenti più inclinati alla faccia sa devono presentarsi alla faccia sa' facendo un angolo più grande dell'angolo limite, e perciò soffrono la riflessione totale. Difatti quanto più il raggio li incidente sulla faccia sa si accosta alla normale n i tanto più piccolo è l'angolo di refrazione $x'iy$, e tanto maggiore addivviene l'angolo $x'i'y$ che il raggio refratto fa colla normale $i'y$. Perciò quest'angolo si fa sempre maggiore dell'angolo limite a misura che l'angolo lin diminuisce.

Se l'angolo refrangente del prisma è eguale all'angolo limite, si dimostra in modo analogo che non potranno emergere se non quei raggi che cadono sulla faccia sa tra la perpendicolare e la base del prisma, e non quelli che cadono tra questa perpendicolare ed il vertice. Se infine l'angolo refrangente del prisma è minore dell'angolo limite, anche una porzione di questi ultimi raggi avrà le condizioni di emergenza. Siccome l'angolo limite del vetro è di $41^{\circ}, 48'$, il doppio è minore di 90° ; d'onde si deduce che non si possono vedere gli oggetti attraverso ad un prisma di vetro il cui angolo refrangente sia retto. Invece essendo di $48^{\circ}, 35'$ l'angolo limite dell'acqua, la luce può ancora traversare l'angolo retto di un prisma cavo formato con tre lastre di vetro ed empito di acqua.

Deviazione minima. Quando si riceva un fascio di luce solare attraverso ad un'apertura A (Tav. VI, Fig. 171) praticata nell'imposta di una camera oscura si osserva che il fascio va in linea retta da A in C a proiettarsi sopra un diaframma lontano. Ma se tra l'apertura dell'imposta e il diaframma s'interpone un prisma verticale, il fascio è deviato verso la base del prisma e viene a proiettarsi in D lungi da C . Allora facendo rotare il sostegno del prisma in modo che l'angolo d'incidenza decresca, si vede il disco luminoso D avvicinarsi al punto C sino ad una certa posizione E oltre la quale non si avvanza; anzi se si continua a far girare il prisma nello stesso verso, si vede il disco retrocedere. V'ha dunque una deviazione EC minore di tutte le altre; e perciò dicesi *deviazione minima*.

Si può anche fare l'esperienza guardando un oggetto l molto lontano attraverso di un prisma abc (Tav. VI, Fig. 172). La immagine refratta l' di quest'oggetto si vedrà deviata verso il vertice, e l'occhio potrà scorgere al tempo stesso direttamente l'oggetto e la sua immagine. Se allora si ruoterà il prisma intorno al suo asse per un verso, la immagine refratta l' si allontanerà continuamente dall'oggetto l fino a perdersi completamente di vista; ma se si ruoterà il prisma nel verso contrario questa immagine si avvicinerà all'oggetto, ossia l'angolo di deviazione O diminuirà; ma fino ad un certo punto, perocchè seguitando a far rotare il prisma essa nuovamente si allontana. Questo minimo angolo di deviazione costituisce la *deviazione minima*. Per mezzo de. calcolo si dimostra che la deviazione minima avviene quando gli angoli d'incidenza e d'emergenza sono eguali.

Determinazione dell'indice di refrazione dei corpi L'indice di refrazione dei corpi si determina riducendoli in prismi e misurando il loro angolo refrangente e l'angolo della loro minima deviazione. La prima misura si ottiene con un goniometro; la seconda si ha nel modo seguente: si riceve sul prisma un raggio LI (Tav. VI, Fig. 173) emesso da un oggetto lontano, e si fa rotare il prisma in modo da ottenere la deviazione minima ED . Allora si misura col grafometro a canocchiale l'angolo EDL' che fa il raggio refratto DE col raggio DL' che viene direttamente dall'oggetto. Quest'angolo non è altro che la deviazione minima, supposto che l'oggetto sia abbastanza lontano perchè i due raggi LI , e LD riescano sensibilmente paralleli. Essendo g l'angolo refrangente del prisma e d quello del minimo deviamiento, si trova col calcolo che l'angolo d'incidenza è eguale a $\frac{d+g}{2}$, e quello

di rifrazione a $\frac{g}{2}$, onde nell'espressione generale $n = \frac{\text{Sen } I}{\text{Sen } R}$

sostituendo i suddetti valori, si avrà

$$n = \frac{\text{Sen } \left(\frac{g+d}{2} \right)}{\text{Sen } \frac{g}{2}}$$

che è l'indice di refrazione della materia del prisma.

Volendo determinare gl'indici di refrazione dei liquidi e dei gas si chiudono in prismi di lamine di vetro le quali abbiano le facce perfettamente parallele, e quando si esperimenta sopra i gas è mestieri che vi sia un manometro per poter tener conto della loro densità.

Ecco la tavola degli indici di refrazione di diversi corpi, supponendo che la luce si refranga in essi venendo dal vuoto.

SOSTANZE	INDICI	SOSTANZE	INDICI
Diamante.	4,755	Alcool.	4,374
Rubino	4,779	Albumina	4,360
Spatto d' Islanda, re- frazione ordinaria	4,6543	Etere	4,358
— refrax. straord. .	4,4833	Umore acqueo . . .	4,336
Flint.	4,605	— cristallino. . . .	4,384
Quarzo, refr. ordin.	4,588	— vitreo	4,339
— refr. straord. . .	4,548	Acqua	4,335
Crown.	4,534	Ghiaccio	4,310
		Aria.	4,0003

Quando si sanno gl'indici di refrazione di due corpi rispetto al vuoto, si può conoscere l'indice del secondo rispetto al primo, dividendo que'due indici tra loro.

Si è chiamata *potenza refrattiva* di un corpo il quadrato del suo indice di refrazione diminuito della unità ($n^2 - 1$). perocchè nell'ipotesi dell'emissione questa quantità denoterebbe l'aumento di velocità che riceve la luce passando dal vuoto nei corpi diafani, giacchè secondo questa maniera di considerare la luce, è forza supporre che essa corra più rapida ne' mezzi più refrattivi. Nella dottrina delle onde questa quantità ha tutt'altro significato, e dipende dalla varia densità dell'etere, giacchè secondo quest'altra teoria si tiene per fermo che la luce perde di velocità nei mezzi più refrattivi. La potenza refrattiva può essere valutata in modo assoluto ed in modo relativo; per esempio 1,326 e 0,785 sono le potenze refrattive assolute del vetro e dell'acqua, ossia i valori di $n^2 - 1$ corrispondenti a questi corpi; ma dividendo il primo numero pel secondo si avrebbe 1,690, che denota la potenza refrattiva del vetro rispetto a quella dell'acqua.

Il *potere refrangente* di un corpo è poi il quoziente che si ha dividendo la potenza refrattiva per la densità del medesimo. Anche questo si può prendere in un modo assoluto o in un modo relativo.

Quando un corpo si dilata o si condensa, sia per cagione meccanica, sia per cangiamento di temperatura, il suo indice di refrazione varia con la densità, ma pare che il potere refrangente rimanga lo stesso, purchè il corpo non passi allo stato aeriforme, perchè allora l'anzidetto potere scema sensibilmente.

Arago e Biot dalle loro esperienze ricavarono la seguente legge: *le potenze refrattive di un gas sono proporzionali alle densità per qualsiasi temperatura e pressione.*

Refrazione della luce nei mezzi terminati da superficie curve. Si può considerare una superficie curva come l'insieme di una infinità di piccoli piani diversamente inclinati fra loro. Allorquando un cono di luce cade sopra una porzione di una di queste superficie e che il corpo a cui questa appartiene è diafano, ogni raggio subisce dal piccolo piano che la riceve una refrazione sottoposta alle leggi che abbiamo indicate. Ma a motivo delle inclinazioni rispettive di tutti i piccoli piani che compongono la superficie refrangente, i raggi refratti prendono gli uni rispetto agli altri delle posizioni che dipendono dalla figura del mezzo, e a seconda delle circostanze tendono verso uno stesso punto o divergono maggiormente che i raggi incidenti.

Dallo studio di queste differenti direzioni della luce così refratta, gli ottici sono giunti a costruire quegli istrumenti sì utili, in grazia dei quali i raggi mandati da un corpo che l'occhio da per sè stesso non potrebbe distinguere, giungono a quest'organo nello stesso ordine che se l'oggetto fosse alla sua portata, e glielo rendono visibile mostrandoglielo dove non esiste.

1.º Caso in cui il mezzo è terminato da una sola superficie curva. Sia mhn (Tav. VI, Fig. 174) una porzione di superficie sferica, e sieno sk , st due raggi incidenti partiti da un punto s preso sul prolungamento dell'asse ch . Supponiamo che questi raggi sieno vicinissimi allo stesso asse, e facciamo con lui

degli angoli eguali. Le perpendicolari $u g$, $z l$, ai punti d'immersione sono necessariamente sui prolungamenti dei due raggi del cerchio a cui appartiene l'arco $m h n$, e di cui il centro è in c ; dunque queste perpendicolari convergono verso l'asse $c h$; e se noi supponiamo che il mezzo M che costituisce la materia della sfera sia più denso del mezzo E percorso dai raggi incidenti, è facile osservare che i raggi refratti $k x$, $t q$ avvicinandosi alle perpendicolari si avvicineranno ancora all'asse. Inoltre se il punto s è ad una conveniente distanza dalla superficie $m h n$, gli stessi raggi convergeranno verso un punto f dell'asse, ove si riuniranno. Tutti gli altri raggi partiti dal punto s , e che compongono coi precedenti un cono molto acuto, la base del quale ha il punto h per centro ed il piccolo arco $k t$ per diametro, convergeranno parimente gli uni verso gli altri, dimodochè si formerà dietro la superficie $m h n$ un nuovo cono opposto al primo colla sua base, e la cui sommità sarà in f . Questo punto è il fuoco dei raggi partiti dal punto s .

È principalmente sulla considerazione dei fuochi che è fondata la costruzione degli istrumenti ottici, giacchè le immagini che noi osserviamo per mezzo di questi istrumenti, altro non sono che riunioni di fuochi provenienti dai punti irraggianti situati alla superficie dei medesimi oggetti, dal che resulta che le distanze fra questi punti ed i vetri a cui mandano i loro raggi variano continuamente a misura che lo spettatore cambia di posizione, o che osserva successivamente diversi oggetti più o meno lontani.

Immaginiamo per esempio che il punto s , essendo prima nella posizione che indica la figura 174.^a, si trovi trasportato in S' (Tav. VI, Fig. 175) ad una maggior distanza dalla superficie refrangente. È chiaro che in tal circostanza i raggi incidenti $s' k$, $s' t$ divergono meno fra loro dei raggi $s k$, $s t$. Dunque poichè i primi fanno colle perpendicolari ai punti $k' t'$ degli angoli più piccoli di quando il punto luminoso era in s , i raggi refratti che loro corrispondono saranno pure più vicini che i primi alle medesime perpendicolari. Essi adunque convergeranno maggiormente fra loro, ed il fuoco f' che formeranno riunendosi insieme, e cogli altri raggi, sarà situato

ad una minor distanza dalla superficie refrangente che il fuoco f .

A misura che il punto s s'allontanerà dalla superficie $m h' n$, il fuoco f' si avvicinerà sempre più alla stessa superficie. Questo movimento giungerà al suo limite, quando il punto luminoso s' , essendo ad una distanza che possa riguardarsi infinita, dalla superficie refrangente, i raggi incidenti $s' k'$ e $s' l'$ potranno considerarsi come paralleli. Questa supposizione ha luogo quando si osservano degli oggetti lontanissimi per mezzo di un istrumento ottico.

Riprendiamo il caso in cui il punto irraggiante è situato in s (Tab. VI, Fig. 174), e supponiamo che questo punto si avvicini invece alla superficie refrangente. Un ragionamento analogo a quello che abbiamo fatto pel caso precedente, proverà che il nuovo fuoco deve formarsi al di là del fuoco f . A misura che la distanza diminuirà fra il punto s e la superficie, i raggi refratti convergeranno sempre meno fra loro; vi sarà un termine in cui diverranno paralleli, di modo che il fuoco svanirà, e passato questo termine divergeranno, come vedesi nella Fig. 176, benchè in minor grado dei raggi incidenti. Allora converrà prolungarli al di sopra della superficie refrangente per avere il loro punto di riunione, il quale si troverà in f , dallo stesso lato che il punto irraggiante s , ma ad una maggiore distanza dalla superficie. In questo caso si dà al punto f il nome di *fuoco virtuale* o *immaginario*, per distinguerlo dal *fuoco reale* determinato dalla riunione effettiva dei raggi refratti, e che ha una fisica esistenza. Il punto s continuando ad avvicinarsi alla superficie refrangente, la divergenza dei raggi refratti aumenterà, dal che è facile concludere, che durante il movimento del punto s , il fuoco immaginario si avvicinerà sempre più alla stessa superficie.

Da ciò che precede deducesi che quando il punto irraggiante ed il fuoco sono situati ai lati opposti della superficie refrangente, la distanza del fuoco da questa superficie diminuisce a misura che quella del punto irraggiante aumenta, e reciprocamente; ma se il fuoco è situato dalla stessa parte del punto irraggiante, le due distanze crescono e diminuiscono contemporaneamente.

Abbiamo detto che allorquando il punto irraggiante è lontanissimo dalla superficie refrangente, i suoi raggi possono considerarsi come paralleli. Esaminiamo adunque il caso in cui dei raggi luminosi paralleli entrano in un mezzo terminato da una superficie curva. Sia $ma n$ una porzione di questa superficie (Tav. VI, Fig. 177), e $s i$, $s' t$ due raggi paralleli all'asse $a c$ del mezzo $ma n c$ ed egualmente distanti dal medesimo. Questi raggi passando da un mezzo meno denso in uno più denso si avvicinano alle perpendicolari $x i$, $g t$, e vanno ad incontrare l'asse $a c$ nel fuoco f , il quale perciò dicesi *fuoco principale*. È in questo punto che segue la concentrazione di tutti i raggi paralleli ad $s i$, $s' t$ ed egualmente distanti dall'asse. I raggi più lontani dall'asse si riuniranno in f'' ed i raggi più vicini in f' , dimodochè il fuoco anche in questo caso non è un punto unico, ma vi si approssima tanto più, quanto meno estesa è la superficie $ma n$.

2.^o *Caso in cui il mezzo è terminato da due superficie curve opposte, ossia refrazione delle lenti*. Si distinguono col nome di *lenti* dei mezzi trasparenti, terminati da due superficie sferiche, o da una superficie piana ed una sferica. Nel maggior numero dei casi le lenti sono di vetro o di cristallo; se ne formano però anche di quarzo, di zaffiro e di diamante. Si giunge a dare alla lente la forma che si desidera arruotando la sostanza che la deve costituire per mezzo di certe polveri minerali su dei piatti metallici appositamente incavati e rotondati. Si usano ancora delle lenti fluide, che si costruisconoempiendo di un liquido lo spazio compreso fra due vetri incurvati e riuniti, come sarebbero due vetri da orologio.

Le lenti distinguonsi in *convergenti* e in *divergenti*. Le prime sono *convesso-convesse* o *piano-convesse* (Tav. VI, Fig. 178). Quella lente che è costituita da due superficie sferiche l'una concava e l'altra convessa, la prima delle quali ha un raggio maggiore della seconda, dicesi *menisco convergente* (Tav. VI, Fig. 178).

Le lenti divergenti sono o *biconcave* o *piano-concave* (Tav. VI, Fig. 179). Un *menisco divergente* è formato da due superficie sferiche l'una concava e l'altra convessa in cui il raggio della prima è minore di quello della seconda (Tav. VI, Fig. 179).

Chiamasi asse della lente la linea $c c'$ che congiunge i centri di curvatura delle due superficie; per le lenti piano-convesse o piano-concave l'asse è la perpendicolare $c p$ abbassata sul piano dal centro di curvatura.

È assai facile ad osservarsi la proprietà che distingue le lenti convergenti dalle divergenti. Le prime esposte al sole fanno convergere i suoi raggi, i quali dopo averle traversate riuniscono in un punto dal quale poi divergono. Queste lenti ingrandiscono gli oggetti che si guardano attraverso di esse, e son più grosse in mezzo che sui lembi. Le lenti divergenti fanno divergere i raggi solari che le attraversano, fanno comparire più piccoli gli oggetti e son più grosse sui lembi che nel mezzo.

Per concepire la causa di questi effetti, conviene studiare la strada dei raggi luminosi nel loro passaggio attraverso le lenti. Cominciamo dalla *lente biconvessa*.

Sia $m n h l$ (Tav. VI, Fig. 180) una lente biconvessa ed s un punto luminoso situato sul suo asse, ad una tal distanza dalla superficie refrangente $m h n$, che i raggi refratti $k x$, $t q$ convergano fra loro; è facile osservare che i raggi emergenti convergeranno maggiormente allontanandosi dalle perpendicolari ai punti x , q , e così il punto f nel quale si riuniranno sull'asse della lente sarà più vicino alla superficie $m l n$ che nel caso in cui i raggi $k x$, $t q$ avessero continuato la loro strada senza alcuna deviazione. Se il punto s viene ad allontanarsi dalla lente, la convergenza dei raggi refratti aumenterà, e questa circostanza determinerà il punto f ad avvicinarsi continuamente alla superficie $m l n$. I punti s ed f presi relativamente l'uno all'altro, son detti *fuochi coniugati*, perchè se il punto luminoso fosse in f i raggi andrebbero a concentrarsi nel punto s .

Allorquando il punto s è ad una distanza infinita dalla lente, il fuoco f (Tav. VI, Fig. 181) prende il nome di *fuoco dei raggi paralleli* od anche di *fuoco principale*.

Rimettiamo il punto luminoso nella posizione indicata dalla Fig. 180, e supponiamo che l'abbandoni per avvicinarsi alla lente. Allora il fuoco f si allontanerà dalla medesima, ed allorquando il punto luminoso coinciderà col fuoco principale,

i raggi emergenti $x f$, $q f$ diverranno paralleli. Se il punto s continuerà a muoversi verso la lente, gli stessi raggi abbandoneranno il loro parallelismo e cominceranno a divergere, per cui il loro fuoco diverrà immaginario.

Allorquando il grado di allontanamento dei raggi paralleli dall'asse è costante, la distanza del fuoco dipende dalla forma della lente e dalla forza refrangente della sostanza che la costituisce. In una lente di vetro per es. le cui superficie sono egualmente convesse, il fuoco è situato presso il centro della sfera di cui la superficie della lente forma parte.

Per determinare sperimentalmente il fuoco principale di una lente convessa, si espone ad una luce che emani da un corpo luminoso molto lontano, affinchè i raggi che giungono sulla sua superficie possano essere riguardati come paralleli. Tale si è per esempio il caso della luce solare: e se si presenta una lente convessa al sole si potrà ricevere l'immagine di questo astro sopra un diaframma, ed il punto in cui l'immagine sarà la più piccola e la più lucente, ivi sarà il fuoco dei raggi paralleli. Concentrando in questa guisa i raggi solari si produce un calore assai forte per produrre in certi casi la fusione dei metalli. Se si colloca una sorgente luminosa al fuoco principale di una lente biconvessa, poichè i raggi refratti emergono fra loro paralleli, l'intensità della luce decresce assai più lentamente che se emanassero direttamente dalla sorgente; perciò una lampada posta nella indicata circostanza può rischiarare a grande distanza. In ottica distinguonsi anche le lenti a foco lungo o corto, secondo la diversa lunghezza della distanza focale; e le medesime non sono indifferentemente usate nella costruzione degli strumenti ottici.

Abbiamo già detto che i raggi di luce che cadono perpendicolarmente sopra una superficie refrangente qualunque non sono mai refratti, ma continuano la loro strada senza cambiare direzione. Nel caso di una lente, il fascio dei raggi che segue la direzione dell'asse e che passa pei due centri di curvatura è il solo perpendicolare alla superficie refrangente, e rigorosamente parlando, questo fascio di raggi sarebbe il solo che dovrebbe traversare la lente senza provare deviazione. Esiste non di meno nella grossezza della lente e sul suo asse

un punto particolare, che chiamasi *centro ottico*, situato in modo che tutti i raggi che lo traversano prendono, sortendo dalla lente, una direzione parallela a quella che avevano entrandovi. Nella lente $m n$ per. es. (Tav. VII, Fig. 182) il raggio AB refratto nella direzione BH è nuovamente deviato sortendo dalla lente, lungo la linea HD parallela ad AB . Se la grossezza della lente è molto piccola si può senza commettere errore sensibile riguardarla come nulla; allora la linea $ABHD$ diviene una linea retta e si confonde colla linea $ABCE$, e perciò il raggio AB sarà passato attraverso la lente senza aver cambiato direzione. Alla linea AE che passa pel centro ottico si dà il nome di *asse secondario*; essa rappresenta l'asse principale rispetto ai raggi che le sono paralleli. Così un fascio di raggi paralleli $P P'$, (Tav. VI, Fig. 183) obliquo all'asse principale, avrà il suo fuoco in F' sull'asse secondario MC , condotto pel centro ottico parallelamente al fascio. Nondimeno è importante osservare che se il fascio di raggi è inclinato per modo che l'asse secondario faccia coll'asse principale un angolo più grande di 10 a 15 gradi, tutti i raggi di questo fascio non convergeranno più esattamente allo stesso punto dopo la loro refrazione. In questo caso si dice che il punto luminoso è fuori del campo della lente.

Passiamo adesso a studiare le deviazioni dei raggi luminosi attraverso le *lenti biconcave*.

Sia AB un raggio di luce (Tav. VII, Fig. 184) incidente sopra una lente biconcava, parallelamente all'asse. Questo raggio entrando nel vetro sarà refratto nella direzione Bb , avvicinandosi alla perpendicolare CB . Lo stesso raggio sortendo dalla lente s'allontanerà dalla perpendicolare, e seguirà la direzione bH . Ogni altro raggio di luce che cade parallelamente all'asse sulla lente, come per es. ED , s'allontanerà da questa direzione dopo la sua emergenza, dimodochè i raggi refratti non incontreranno mai l'asse. Non si avrà in questo caso alcun fuoco reale, e se si prolunga il raggio bH nella direzione Hb , esso anderà a tagliare l'asse al punto F , che è un fuoco immaginario o un punto di dispersione situato dietro la lente, dal quale i raggi refratti sembrano provenire. Nel caso in cui i raggi partano da un punto S (Tav. VII, Fig. 185)

situato sull'asse, si riconosce, mediante la stessa costruzione, che si forma un fuoco virtuale in s , posto tra il fuoco principale e la lente. In quanto alle lenti piano-convesse, piano concave ec. ec., sarebbe facile trovare la strada dei raggi incidenti sopra di esse con un metodo analogo a quello che abbiamo indicato, rammentandosi sempre, che se il passaggio della luce si fa da un mezzo meno refrangente in uno più refrangente, il raggio si avvicina alla perpendicolare, e che se ne allontana nel caso contrario.

Delle immagini formate dalle lenti. Le immagini sono formate dalle lenti precisamente nel modo stesso che dagli specchi; vale a dire sono il complesso dei fuochi dei diversi punti del corpo luminoso. Sia AB un oggetto posto dinanzi ad una lente convessa, e più lontano da essa del fuoco principale F (Tav. VII, Fig. 186). Rammentiamoci che ciascuno dei punti di cui l'oggetto è composto avrà il suo fuoco o immagine, situato dall'altro lato della lente, sulla linea retta che passa da questo punto e dal centro ottico C ; il punto A per es. avrà il suo fuoco in a , ed il punto B in b a delle determinate distanze. I raggi che partiranno da tutti i punti intermedj convergeranno pure a dei fuochi situati sulla linea ab e determinati nella stessa guisa, dimodochè la linea ab rappresenterà l'immagine rovesciata dell'oggetto AB . È facile dedurre dalle considerazioni che precedono, che se l'oggetto è lontanissimo dalla lente, l'immagine sarà situata quasi al fuoco principale F' , piccolissima e rovesciata. A misura che si avvicinerà l'oggetto, l'immagine sempre rovesciata si allontanerà ingrandendosi; infine essa acquista le maggiori dimensioni possibili quando l'oggetto si trova posto molto vicino al fuoco. A questo punto l'immagine va a formarsi ad una distanza infinita, poichè i raggi escono paralleli, l'immagine non è in realtà più visibile. Se l'oggetto AB è posto più vicino alla lente che il fuoco principale, l'immagine ab si troverà dallo stesso lato dell'oggetto, e sarà dritta, virtuale, e sempre più grande dell'oggetto. Questa immagine diviene sempre più grande a misura che l'oggetto si avvicina alla lente. È per questa ragione che guardando un oggetto qualunque con una lente convergente, allorquando il medesimo è situato presso la lente

stessa e dentro la sua distanza focale, noi lo vediamo ingrandito e nella sua vera posizione.

Si abbia ora una lente biconcava $E F$ (*Tav. VII, Fig. 187*) dinanzi alla quale sia posto l'oggetto $H P$. L'andmeanto del raggio luminoso $P m n$ mostra chiaramente l'impossibilità della formazione di una immagine al di là della lente, e che il fuoco p' non può trovarsi che sul prolungamento del raggio $D n$. Parimente il fuoco del punto luminoso H non può trovarsi che in h sul prolungamento del raggio $D' n'$, talchè è evidente che l'immaginè $h p$ sarà diritta, situata dalla stessa parte dell'oggetto e più piccola.

Nella teoria dei fuochi e delle immagini formate dalle lenti sferiche, si è sempre supposto che i raggi emessi da uno stesso punto, si riunissero dopo la refrazione parimente in un sol punto. Così avviene difatti quando l'apertura della lente, cioè l'angolo che si ottiene unendo i suoi lembi al fuoco non sorpassa 10 o 12 gradi. Per un'apertura maggiore, i raggi che attraversano la lente presso i lembi hanno il loro punto di riunione meno lontano dalla lente di quelli che l'attraversano presso l'asse; talchè si produce un fenomeno simile a quello che abbiamo notato negli specchi col nome di aberrazione di sfericità per riflessione, e che nel caso delle lenti s'indica col nome di *aberrazione di sfericità per refrazione*. Le superficie brillanti che in conseguenza di essa sono formate nello spazio dalle intersezioni successive dei raggi refratti si chiamano *caustiche per refrazione*. Questa aberrazione di sfericità è nociva alla chiarezza delle immagini. Si ovvia a questo inconveniente delle lenti collocando innanzi ad esse dei diaframmi aventi un'apertura centrale che dia libero passaggio ai raggi che si presentano verso il centro e trattenga quelli che tendono a refrangersi verso i lembi. Del resto combinando due lenti di opportune curvature si giunge a distruggere completamente l'aberrazione di sfericità.

Lenti a gradinate di Fresnel. Le lenti di grandi dimensioni riescono di difficile costruzione; inoltre producono una grande aberrazione di sfericità, e perdono molto in trasparenza a motivo della loro grossezza. Per togliere questi inconvenienti, Fresnel immaginò di costruire le lenti di varj pezzi concen-

trici, e tali lenti riceverono il nome di *lenti a gradinate* o a *scaglioni*. Sono desse formate da una lente centrale piano-convessa *C* (*Tav. VII, Fig. 188*), cinta da una serie di segmenti anulari e concentrici *AB*, ciascuno dei quali ha una faccia piana situata dalla parte della faccia piana della lente centrale, mentre le facce opposte hanno curvature tali che i fuochi dei varj segmenti si formano nel medesimo punto. Ciò ottiensi dando alla parte centrate della lente un raggio di curvatura assai piccolo, e facendo che i successivi anelli abbiano raggi di curvatura successivamente maggiori. Allora gli anelli più lontani dal centro tendono naturalmente ad avere distanze focali minori; ma poichè dotati di raggi di curvatura maggiori debbono accrescere le loro distanze focali, laonde potranno talmente disporsi le cose da ottenere una perfetta compensazione, in guisa che tutte le parti della lente abbiano la stessa distanza focale.

Se si pone una sorgente luminosa nel fuoco comune di una di queste lenti, tutta la luce che emana da essa dopo aver traversato la lente forma un largo fascio di raggi quasi paralleli; i quali lo sarebbero rigorosamente se tutti i punti della sorgente luminosa fossero concentrati alla distanza focale principale.

Fresnel ha costruito anche delle lenti cilindriche convergenti a scaglioni. Essendo state queste lenti dal medesimo fisico applicate ai fari, interessa conoscere il loro modo di agire. Suppongasi una lente cilindrica piano-convessa posta verticalmente, vale a dire colla base del cilindro di cui essa è segmento, in posizione orizzontale; è chiaro che se sopra di essa cada un fascio di raggi divergenti questi non si potranno raccogliere in un punto solo, ancorchè la lente sia di piccolissima ampiezza, o corretta dalla aberrazione nel modo sopra indicato, perocchè la superficie cilindrica è curva solo per un verso; quindi si avrà una linea verticale di fuochi nella quale tutti i raggi debbono incontrarsi. Ora s'immagini una fiamma di piccol volume collocata nel mezzo di questa linea; è chiaro che la luce nel verso dei piani verticali emerge dalla lente colla sua divergenza, ma non può divergere nel verso dei piani orizzontali, perchè la curvatura della lente

obbliga i raggi a rendersi paralleli; quindi al di là della lente la luce sarà ridotta alla forma di un ventaglio aperto in un piano verticale. Se la lente venisse collocata orizzontalmente e con una delle facce rivolta al lume, che si supponga sempre situato nella metà della linea focale, allora la luce emergerebbe in forma di un ventaglio aperto in un piano orizzontale, e se mentre la luce emerge così da questa lente orizzontale le verrà presentata una lente pure cilindrica verticale, il ventaglio si chiuderà, vale a dire si avrà un fascio di raggi paralleli come se fossero usciti da una lente sferica provenienti dal suo fuoco principale.

Applicazioni ai fari delle lenti a gradinate. Quest'applicazione devesi a Fresnel, ed ha ottenuto un successo così grande, che è stata adottata da tutti i paesi marittimi d'Europa. Avendo ben inteso quanto sopra abbiamo esposto intorno al modo di agire delle lenti cilindriche, ci sarà facile intendere come siano congegnati i fari alla Fresnel. E primieramente suppongasi che delle lenti cilindriche a scaglioni siano disposte in giro quasi fossero i vetri di una grossa lanterna poligonale entro la quale stia una fiamma viva e di piccolo volume. Se la medesima sia situata nel fuoco comune di queste lenti, tutta la luce incidente sopra di queste emergerà in forma di un ventaglio orizzontale che occuperà l'intero cerchio, perchè le lenti si trovano intorno al lume da tutte le parti formando una serie continua. Quindi quella luce, che seguendo il suo cammino naturale avrebbe dovuto propagarsi in tutte le direzioni, è costretta a ridursi orizzontale, e quindi si avrà una striscia circolare di luce molto viva. Così sono fatti i piccoli fari a luce fissa, detti di 5.^o ordine.

Suppongasi ora che intorno a quella gabbia di lenti cilindriche orizzontali girino tre altre lenti cilindriche verticali messe ad eguali distanze; è evidente che di tutto quel ventaglio circolare orizzontale se ne fanno sei ventagli comuni, tre dei quali passano negli intervalli che restano tra le tre lenti verticali anzidette, e gli altri tre cadono su di queste; quindi i tre primi restano aperti e i tre ultimi si chiudono, vale a dire riduconsi in fasci di raggi paralleli (*Tav. VII, Fig. 189*). Perciò si avranno tre splendori fulgidissimi, tre splendori

medj, e sei intervalli oscuri in tutto il cerchio. E poichè le lenti cilindriche verticali per un congegno di orologeria girano intorno alla lanterna o gabbia di lenti cilindriche orizzontali, così ne segue che un osservatore stando fisso in un punto qualunque dell'orizzonte, dovrà successivamente provare tutte le fasi che il faro presenta. Ecco adunque la ragione dei lampi intermittenti di luce che osservansi nei fari dei nostri principali porti del Mediterraneo.

A fine di ridurre orizzontale quella luce che si propagherebbe al di sopra e al di sotto della lampada e che non può cadere sulle lenti, sono disposti opportunamente al di sopra e al di sotto del sistema refrangente dei prismi che per riflessione totale riconducono la luce all'orizzonte, e talora anco degli specchi, che producono lo stesso effetto. La luce finalmente proviene da una lampada alla Carcel, a due, tre o quattro lucignoli di forma cilindrica e concentrici.

La figura 190 (Tav. VII), rappresenta il modo con cui è disposto un fanale di porto detto di 3.^o ordine. Nel medesimo il sistema refrangente si compone di 5 anelli sovrapposti n , ed il sistema riflettore di otto anelli prismatici p , cinque dei quali in alto e tre in basso, tagliati e disposti in guisa che la luce provi sulle loro grandi facce una totale riflessione, mentre entra ed esce dalle altre facce sotto una piccola obliquità. In m sono rappresentate le lenti cilindriche verticali, mobili, destinate a produrre i lampi periodici che si rinnovano tre o quattro volte per minuto. Sono desse sostenute dal piano x che è posto in moto da un peso per mezzo degl'ingranaggi y . Il loro fuoco è pure situato in mezzo alla fiaccola del fanale.

Pei fanali di un ordine più elevato, le distanze focali debbono essere maggiori, e sarebbe troppo difficile lavorare degli anelli di vetro di un diametro sufficiente: allora vi si supplisce componendo il sistema refrangente fisso, di lenti cilindriche orizzontali, le quali in numero di 32 sono riunite in guisa da formare un prisma a 32 piani, il quale rimpiazza il sistema circolare precedente.

La differenza tra i diversi ordini di fari sta nel diverso numero di lucignoli della lampada, nella diversa grandezza delle lenti, ed anche nella diversa forma delle medesime.

La figura 191 (Tav. VII), rappresenta un fanale di prim'ordine in cui il sistema riflettore è fisso, ed il sistema refrangente è mobile. Il primo sistema si compone di specchi di vetro stagnati, disposti in m , formando otto piani superiori e quattro inferiori. La loro disposizione è tale che la luce della lampada viene ad essere riflessa orizzontalmente. Il sistema refrangente è formato da otto lenti anulari sferiche a , portate per mezzo di aste di ferro sul piano z , che è posto in movimento con un meccanismo simile a quello del faro precedentemente descritto.

La portata dei fanali, o la distanza alla quale sono visibili da un punto dato dall'orizzonte del mare, dipende dall'altezza alla quale son posti, imperocchè per un osservatore all'altezza di 5 metri, il cerchio reale dell'orizzonte è di circa 8,000 metri o due leghe, e la distanza aumenta come la radice quadra dell'elevazione, dimodochè per un'altezza di 20 metri la distanza è di 16,000 metri, e per quella di 500 metri è di 20 leghe.

Della decomposizione della luce e de' colori.

La luce che emana dai corpi luminosi ci sembra costituita di raggi semplici, ma non è realmente tale: ogni raggio di luce è composto di raggi di colori diversi, i quali differentemente assorbiti e riflessi dai corpi producono le tinte svariate da cui sono rivestiti. Questa grande scoperta è dovuta a Newton, e noi ci accingiamo ad esaminare i fatti che la costituiscono: Se alla imposta VV di una camera oscura si pratica una piccola apertura H , di una linea di diametro (Tav. VII, Fig. 192) in modo da farvi passare un fascio SH di raggi solari, e se sul loro passaggio si pone un prisma triangolare di vetro P simile a quello descritto trattando della refrazione, in modo che l'asse del prisma sia perpendicolare alla direzione dei raggi, si vede che questi subiscono non solo una deviazione, ma ben anco una decomposizione. Difatti si osserva che mentre prima d'interporre il prisma, l'immagine solare era circolare, dopo essa è invece divenuta ellittica e molto allungata perpendicolarmente agli spigoli del prisma, e di bianca

che era, essa si è dipinta di diversi colori. Questa immagine, che dicesi *spettro solare*, è terminata da due linee parallele perpendicolari agli spigoli del prisma, e da due semicircoli paralleli a quegli spigoli, e si compone di strisce parallele di colore diverso. Quando lo spettro è ben formato vi si distinguono sette strisce dei sette seguenti colori: rosso, arancione, giallo, verde, blu, indaco, violetto. Il rosso è il più alto, ed il violetto è il più basso quando l'angolo refrangente del prisma è rivolto in alto; quando invece l'angolo refrangente è rivolto in basso il violetto è il più alto ed il rosso il più basso.

Onde queste strisce colorate sieno ben distinte è necessario ricevere lo spettro sul diaframma a 5 o 6 metri dal prisma. Il prisma che si adopra generalmente in queste esperienze è di vetro o di cristallo. Si può anche adoprare un prisma liquido, che si fa riempiendo di un liquido trasparente un prisma costruito con delle lamine di vetro riunite con del mastice negli spigoli. Versando in siffatto prisma dei liquidi diversi si può determinare la diversa ampiezza dello spettro, o ciò che chiamasi il *coefficiente di dispersione* delle diverse sostanze. Si fa questa osservazione con una serie di prismi che hanno lo stesso angolo refrangente, sovrapposti l'uno all'altro, movendoli davanti l'orifizio da cui entra il fascio di luce solare: s'obbliga questo fascio a cadere sui diversi prismi colla stessa obliquità, e si ottengono in tal modo degli spettri diversamente deviati, e nei quali i diversi colori occupano degli spazj diversi. Nello spettro ottenuto da un prisma di *flint-glass*, che è un vetro contenente dell'ossido di piombo, v'è proporzionalmente assai più violetto che rosso, in confronto dello spettro formato da un prisma di *crown-glass* o di vetro ordinario.

Qualunque sia però la sostanza del prisma adoprato, qualunque sia la luce bianca scomposta dal prisma, la disposizione dei raggi colorati nello spettro è sempre la stessa: la striscia violetta è sempre la più deviata, cioè quella che è più lontana dall'angolo refrangente del prisma, e successivamente lo sono meno gli altri sei colori dello spettro.

La decomposizione della luce proviene da ciò, che i sette raggi di differente colore, che costituiscono la luce bianca,

sono diversamente refrangibili. Allorquando un raggio di luce passa attraverso un prisma, ciascuno del sette raggi colorati da cui è composto, è refratto secondo una particolare direzione. I raggi violetti essendo i più refrangibili sono i più deviati dalla primitiva loro direzione, e perciò i più allontanati dall'angolo refrangente del prisma. Vengono in seguito gli altri raggi, fino ai rossi, i quali essendo i meno refrangibili sono i meno deviati dalla primitiva loro direzione, e sono i più prossimi all'angolo refrangente del prisma. Se si pone un secondo prisma sul passaggio dei raggi coloriti, questi raggi saranno nuovamente refratti, ma senza subire questa volta alcuna decomposizione o cambiamento di colore.

L'ineguale refrangibilità dei raggi colorati si conferma con un'esperienza diretta. Si arresta lo spettro sopra un diaframma traversato da un foro e dietro al quale trovasi un secondo prisma (*Tav. VII, Fig. 193*), poi girando un poco il primo prisma, si fanno giungere successivamente tutti i colori sul secondo: allora si osservano le loro deviazioni, e si vede che il rosso va a cadere per es. in r , mentre il violetto si dipinge in u , il che mostra direttamente che il violetto è più refrangibile del rosso, e che i colori intermedi hanno delle refrangibilità intermedie crescenti dal rosso al violetto.

L'occhio non distingue che sette colori nello spettro, ma non bisogna dedurne che non vi sono che sette gradi di refrangibilità nella luce bianca: risulta infatti dalla forma stessa dello spettro, che in ogni colore vi sono delle differentissime refrangibilità. Supponiamo infatti per un istante che non vi sieno nella luce solare che del rosso di una sola refrangibilità e del violetto di una sola refrangibilità; lo spettro si ridurrebbe allora a due cerchi separati; cioè il cerchio del rosso che comparirebbe in basso, ed il cerchio del violetto in alto, e fra i due cerchi vi sarebbe una grande lacuna. Da ciò s'intende che lo spettro si compone di tanti cerchi sovrapposti quante sono le diverse refrangibilità della luce. Per determinare il loro numero esatto; si è tentato separarli diminuendo più che era possibile il diametro dell'apertura dell'imposta, ed allontanando molto il diaframma, ma non si è riusciti nell'intento, poichè in questo caso si osserva che

ogni cerchio colorato occupa nel senso della lunghezza uno spazio più grande che il cerchio dell'immagine solare, e presenta delle sfumature presso il colore prossimo, il che dee far concludere che per ogni colore vi sono varj cerchi in parte sovrapposti, cioè a dire varie immagini dello stesso colore e di differente refrangibilità.

Semplicità dei colori dello spettro. Ogni colore dello spettro, benchè debba considerarsi costituito di raggi diversamente refrangibili, non è suscettibile di esser decomposto in nuovi colori. Difatti se dopo avere isolato con un diaframma fornito di un piccolo foro, un fascio qualunque dello spettro, il violetto per es., si fa passare per un numero qualunque di prismi, di lenti, o di altri corpi refragenti, non si vedrà comparire alcun nuovo colore. Se si fa cadere questo fascio violetto sopra un corpo di colore diverso, rosso, giallo, verde ec., questo corpo diviene violetto, senza che vi si possa scuoprire alcuna traccia del colore primitivo che offre naturalmente e che gli sembra proprio ed inerente. L'esperienza può farsi sulle foglie delle piante, sui fiori, sull'oro ec.; tutti questi corpi prendono allora la stessa tinta, divengono violetti, come se questo colore fosse il loro proprio. Parimente in un fascio rosso, tutti i corpi divengono rossi, in uu giallo gialli, e così di seguito.

Parimente se si fanno passare dei raggi di un colore dello spettro attraverso dei corpi diafani di diversi colori, si osserva che, o i raggi che passano sono del colore del raggio dello spettro che li traversa, o non passano minimamente essendo intieramente assorbiti. Questa esperienza è specialmente rimarchevole con dei vetri rossi; alcuni lasciano passare liberamente la luce violetta, altri l'assorbono in totalità, benchè osservandoli ambedue alla luce del cielo sembrino egualmente coloriti ed egualmente trasparenti: quello che assorbe il violetto, assorbe in generale tutti gli altri colori dello spettro eccetto il rosso; perciò è un corpo trasparente pel rosso e più o meno opaco per gli altri colori.

Suol dirsi con Newton, che la luce semplice è omogenea; ma questa espressione è inesatta, giacchè sembra indicare che tutte le parti di questa luce provino sempre gli stessi effetti.

Ora è facile verificare che un raggio di luce semplice è in parte riflesso alla superficie di un corpo diafano, ed in parte refratto nel suo interno; perciò queste due parti non sono identiche perchè subiscono per una stessa causa degli effetti diversi.

I colori dello spettro attesa la loro semplicità diconsi anche *semplici* o *elementari*.

Ricomposizione della luce bianca. Dopo aver decomposto un fascio di raggi di luce, si riesce a ricomporlo riunendo tutti i raggi in uno stesso punto. Si giunge a questo risultato ricevendo lo spettro solare ad una certa distanza dal prisma sopra una lente convergente; ogni sistema di raggi avendo un diverso potere refrangente formerà un fuoco separato, e vi sarà dunque sull'asse della lente una serie di fuochi distinti, ma così poco lontani fra loro, che se vi si porrà un foglio di carta bianca non si vedrà che un'immagine bianca leggermente colorita sui margini. L'esperienza può farsi anche per mezzo di un secondo prisma. Se di dietro al primo prisma che ha separati i sette raggi della luce bianca se ne presenta un altro simile disposto inversamente al primo, cioè coll'angolo refrangente in basso; allora il fascio che è colorato fra i due prismi non lo è più al di là del secondo, ed il fascio che lo attraversa è di nuovo di luce bianca, e parallelo al fascio caduto sul primo prisma. Per fare questo esperimento si può prendere un cubo fatto con lamine di vetro, e separato in due cavità prismatiche da una lastra di vetro messa nella diagonale. Mettendo acqua in uno dei prismi, il raggio è deviato e fa spettro; questo non accade più versando acqua pure nell'altra cavità. Possono anche concentrarsi i raggi colorati divisi dal prisma per mezzo di un grande specchio concavo. Al fuoco di questo specchio si vedrebbe un'immagine bianca; ma se si togliesse il diaframma dal fuoco per lasciare ai raggi la libertà di continuare la loro strada al di là del punto di convergenza si vedrebbe lo spettro riprodursi.

Si può mostrare sperimentalmente anche con dei mezzi meccanici che il color bianco è composto dei sette colori dello spettro. Si prendano sette polveri, aventi ciascuna uno dei colori dello spettro; se si macinano insieme entro un mortajo

si otterrà un composto grigio biancastro. Se si prende un disco di cartone o di legno diviso in sette segmenti ciascuno dei quali abbia uno dei colori dell'iride, e se per mezzo di un asse qualunque si fa ruotare con grande rapidità, al nostro occhio apparirà di color biancastro. È questo un effetto della persistenza delle immagini sulla nostra retina, di cui abbiamo già avuto luogo di discorrere.

Colori complementarj. Per mezzo di quest'ultima esperienza si possono scuoprire altre proprietà dei colori elementari dello spettro. Poichè tutti i colori semplici, presi insieme nella loro naturale proporzione riproducono la luce bianca, è evidente che per alterarne la bianchezza basterà sopprimere uno dei colori semplici, o semplicemente alterarne la proporzione. Se nel disco ruotante sopra descritto si sopprime il segmento rosso e si lasciano tutti gli altri colori, si ottiene una tinta azzurrastra; questo colore mescolato al rosso produce il bianco. Ogni volta che due colori semplici o composti adempiono questa condizione, cioè a dire ogni volta che mescolati insieme riproducono del bianco, sono detti *complementarj* l'uno dell'altro. Non v'ha colore, qualunque sia, che non abbia il suo complementario, giacchè se non è bianco gli mancano soltanto alcuni degli elementi del color bianco, e questi elementi fra loro mescolati formano il suo colore complementario. Ma se al miscuglio di questi elementi si aggiungesse in diverse proporzioni del bianco, si avrebbero tante tinte diverse che sarebbero tutte egualmente efficaci per riprodurre il color bianco col colore dato. V'ha dunque rigorosamente una infinità di tinte diverse che hanno lo stesso colore complementario, ed un'infinità di tinte complementarie che appartengono allo stesso colore. La maggior parte dei verdi hanno per colori complementarj dei violetti più o meno rossastri, ed i gialli degli indachi più o meno violetti.

Per istudiare coll'esperienza le tinte che resultano dai varj colori semplici mescolati, si può impiegare un apparecchio composto di sette specchi: si pone a una grande distanza dal prisma onde lo spettro sia bene esteso, e s'inclinano convenientemente gli specchi per dirigere in uno stesso punto di un foglio di carta bianca quei colori che si vogliono riunire.

Newton facendo così un numero grande di esperienze giunse ai seguenti risultati generali:

1.^o Due colori consecutivi dello spettro danno sempre col loro miscuglio una tinta intermedia; così il rosso e l'aranciato danno un rosso e un aranciato più o meno rosso o più o meno aranciato, secondo le proporzioni relative dei due colori che si mescolano.

2.^o Due colori distanti nello spettro di un colore danno col loro miscuglio il colore che li separa; così il rosso ed il giallo danno l'aranciato, l'aranciato ed il verde danno il giallo, il giallo ed il blu danno il verde, il verde e l'indaco producono il violetto, il blu ed il violetto formano l'indaco.

3.^o Due colori distanti di due ordini nello spettro danno uno dei colori che li separa, come s'avrebbe se fosse mescolato con una certa quantità di luce bianca.

Analisi de' colori de' corpi per mezzo del prisma. Dopo gli esposti fatti è facile intendere che è possibile d'imitare perfettamente tutti quei colori che troviamo in natura, componendo insieme i diversi colori semplici dello spettro, e che da tutti i colori naturali possono separarsi i colori semplici che li compongono. Egli è per mezzo del prisma che si può giungere ad analizzare i diversi colori naturali dei corpi. I fenomeni che allora si presentano sono variatissimi; ma ci basterà d'indicare le condizioni sotto le quali si producono ed il principio che serve a spiegarli.

1.^o In mezzo ad un foglio di carta nera, situansi accanto l'una all'altra due piccole strisce di carta *r* ed *u*, l'una rossa e l'altra violetta di uno a due centimetri di lunghezza e di un millimetro di larghezza (*Tav. VII, Fig. 194*), poi si osservano con un prisma da qualche decimetro di distanza, tenendo gli spigoli del prisma paralleli alla lunghezza delle strisce. Si vede allora l'immagine deviata di ciascuna striscia, ma l'immagine *u* è assai più sollevata verso la cima del prisma, di quello che non lo sia l'immagine *r*. Ciò avviene perchè il violetto è più refrangibile del rosso; ed è a motivo della ineguale refrangibilità che attraverso del prisma vedonsi le due strisce separate, mentre che veggonsi unite e sulla stessa linea allorché si osservano direttamente.

2.° Se invece di dipingere le due strisce, l'una in rosso e l'altra in violetto, si mescolano prima i due colori insieme per dipingere una sola striscia p col colore composto, che è una specie di porpora, allora attraverso il prisma questa striscia p produce due immagini distinte e separate r ed u , l'una rossa e l'altra violetta. Perciò la potenza refrangente del prisma separa i due colori elementari che compongono il porpora, e devia ciascuno di questi colori colle leggi che gli sono proprie, esattamente come se provenissero da un corpo luminoso di per sè stesso.

3.° I corpi che sono naturalmente bianchi non potendo trarre la loro bianchezza che dalla luce che li illumina, si può giudicare *a priori* che il loro colore deve riprodurre tutte le tinte dello spettro, nella stessa guisa che il porpora della precedente esperienza riproduce le tinte elementari che entrano nella sua composizione. Infatti una piccola striscia b di carta bianca guardata col prisma non dà più alcuna traccia di color bianco nella sua immagine $u r$, ma se è assai stretta dà in un modo perfettamente distinto, il rosso, l'arancio, il giallo, il verde, il blu, l'indaco ed il violetto, nello stesso ordine e nella stessa proporzione della luce solare.

4.° Una striscia assai grande b' , di carta bianca presenta apparenze diverse: verso la metà dell'immagine tutti i colori semplici sono sovrapposti e riproducono del bianco, ma nello stesso tempo la ricomposizione è incompleta verso i margini, e da un lato veggonsi delle strisce violette, indaco, blu e dall'altro rosse, arancione e gialle.

5.° Una larga striscia nera n sopra un fondo bianco, presenta attraverso il prisma, dei fenomeni che sono precisamente gl'inversi dei precedenti; il mezzo dell'immagine è nero, e partendo da questo mezzo le strisce colorite sono successivamente rosse, arancione, gialle in alto, e violette, indaco e blu verso il basso. Per rendersi conto di questa inversione, basta osservare che i colori risultano dallo spazio bianco che limita la striscia nera o : quelli di alto provengono dal fondo bianco che è immediatamente sopra ad n , e quelli di basso dal fondo bianco che è immediatamente al di sotto.

6.° Una striscia nera n' strettissima non dà più nero nel

mezzo; la sua immagine si compone semplicemente di strisce rosse e violette, al di fuori delle quali trovansi da un lato l'arancione ed il giallo, dall'altro l'indaco ed il blu. Accade come se il mezzo nero dell'esperienza precedente diminuisse sempre più fino al punto di sparire.

7.^o Tutti i colori naturali possono essere analizzati collo stesso processo; vi sono non di meno due cause che impediscono che l'analisi sia perfettamente esatta: il fondo sul quale si dispongono non è mai assolutamente nero anche quando è una superficie accuratamente annerita con del nero di fumo; e gli oggetti colorati, come foglie, fiori, penne, scaglie, pietre preziose ec., hanno quasi tutti la proprietà di riflettere alla prima loro superficie una porzione della luce incidente senza imprimerle colorazione. Questa luce bianca più o meno intensa rimandata dal fondo e dall'oggetto stesso, produce nel traversare il prisma delle tinte estranee che si uniscono alle tinte proprie della materia che è sottoposta all'esperienza.

8.^o I vetri colorati ed in generale i corpi traslucidi sono sottoposti all'esperienza in altra guisa: si osserva col prisma la luce solare che li ha traversati: se questa luce è sempre composta, il prisma ne separa i colori; se è semplice, il prisma non ne modifica nè la forma nè il colore. Non vi sono che certi vetri rossi antichi che diano della luce semplice.

La luce che possiamo produrre artificialmente, sia colla combustione, sia in generale colle azioni chimiche, fisiche o meccaniche, può essere analizzata collo stesso mezzo, e tutte le esperienze che sono state fatte su questo soggetto conducono fino ad ora alle due seguenti conseguenze:

1.^o La luce artificiale, qualunque sia la sua origine, non contiene alcun colore semplice che non si ritrovi nella luce solare;

2.^o Non esiste alcuna luce artificiale che riproduca i colori semplici della luce solare, colle loro intensità e le loro relative proporzioni. Il colore che domina in una luce artificiale è pure quello che domina nello spettro che si ottiene osservandola con un prisma. Così le fiamme rosse, gialle, verdi, blu danno degli spettri in cui il colore dominante è il rosso, il giallo, il verde, o il blu. Non di meno, quando si brucia

con un lucignolo di spugna dell'alcool allungato con acqua e contenente una soluzione del sal marino, si ottiene una fiamma gialla la cui luce è quasi della luce semplice: è con questo mezzo che Brewster compone la sua fiamma monocromatica, la quale può essere utile per rischiarare gli oggetti nelle osservazioni microscopiche, e per fare diverse esperienze di polarizzazione o di diffrazione.

Teoria di Newton della colorazione de' corpi. Per le descritte esperienze, Newton fu condotto ad ammettere che i colori naturali dei corpi risultino da una disposizione particolare delle loro molecole, per la quale sono resi atti a riflettere in maggior copia i raggi di un certo colore e ad assorbire gli altri. In questa teoria, i corpi realmente bianchi rimandano tutta la luce che ricevono; i neri assorbono tutto e non riflettono nulla, i corpi grigi assorbono un'egual proporzione di tutti i colori semplici; i rossi assorbono il colore complementario del rosso; i gialli il colore complementario del giallo ec. I corpi che riescono colorati per trasparenza, si lasciano attraversare dal raggio di cui hanno il colore, ed assorbono gli altri

Questa dottrina è principalmente confermata dai seguenti fatti, cioè: 1.° che un corpo, qualunque sia il suo colore alla luce bianca, presenta un sol colore quando è posto in un raggio colorito dello spettro, e precisamente il colore stesso del raggio; 2.° che la porzione dei raggi luminosi assorbita dalle molecole dei corpi cresce col numero di queste molecole; e difatti i vetri colorati, l'aria, l'acqua ec., prendono delle tinte tanto più cariche quanto più è grosso lo strato di questi corpi che la luce traversa.

Vi sono però certi corpi diafani che sotto un piccolo strato presentano un dato colore, mentre sotto uno strato più grosso ne presentano uno differente. Così se si empie un prisma di vetro di una soluzione di cloruro di cromo si vede la cima del prisma di un bel verde, mentre verso la base è di un rosso molto carico. Ciò significa che la rammentata soluzione si lascia traversare dai raggi verdi e rossi, ma più dai secondi che da' primi; ma avendo i raggi verdi una intensità molto maggiore dei rossi, sotto una piccola massa il colore dei pri-

mi predomina, mentre sotto una grande massa, i raggi verdi, essendo meno trasmessi dei rossi, il colore di questi prevale.

In ogni caso poi è necessario onde un corpo si colori, che i raggi abbiano penetrato la sua sostanza, onde l'assorbimento di una porzione di essi abbia luogo, senza di che la riflessione della luce bianca alla superficie sarebbe tanto maggiore della riflessione della luce colorata, che il corpo esposto alla luce sarebbe bianco. Ne avverrebbe ancora, se il colore dipendesse dalla sola riflessione alla superficie dei corpi, che il ridurli in polvere più o meno fine, l'assottigliarli più o meno non dovrebbero avere influenza sul colore; ed invece l'osservazione prova che la tinta dei corpi è tanto più leggiera quanto più sono presi in polvere fine ed in strati sottili.

Azioni calorifiche dello spettro solare. Esponendo dei termometri molto sensibili ai differenti colori dello spettro solare, si hanno tante temperature diverse. L'azione calorifica va aumentando dal violetto al rosso, e si estende anche al di là dello spettro. Berard trovò il massimo calore nel raggio rosso dello spettro. Herschell lo rinvenne al di là del rosso, cioè fuori dello spettro, ma queste differenze dipendono dalla natura del corpo che costituisce il prisma. Melloni ha provato che quanto più il corpo è diatermano, tanto più il massimo di calore si allontana dal giallo e si porta verso il rosso: con un prisma di sal gemma questo massimo è molto al di là del rosso. Decomponendo il fascio della luce solare mediante un prisma di sal gemma, e facendolo quindi passare attraverso uno strato d'acqua rinchiuso fra due lastre di vetro parallele, il massimo si ravvicina al rosso e penetra nello spettro a misura che s'aumenta la grossezza dello strato d'acqua. Per una grossezza di 4 millimetri il massimo è nel rosso; per una di 300 millimetri è nel giallo. Delle lamine di vetro di grossezza crescenti producono gli stessi effetti ma con minore energia.

Quando si sostituiscono allo strato di acqua, o alle lastre di vetro, delle lastre di vetro colorito, certi raggi coloriti sono assorbiti, e lo spettro luminoso è interrotto da delle strie più o meno oscure, mentre lo spettro calorifico non subisce alcun cambiamento corrispondente nella sua forma e nella sua po-

sizione, ma soltanto delle variazioni d'intensità in tutti i suoi punti. Infine se si fa passare il fascio attraverso l'acqua e ad un vetro verde colorito dell'ossido di rame, si giunge a fare sparire completamente lo spettro calorifico, ed il fascio luminoso concentrato da una lente in un punto in cui la luce di un giallo verdastro, ha quasi lo stesso splendore della luce diretta del sole, non vi produce calor sensibile ai termoscopi i più delicati. Resulta evidentemente da questi fatti che il calore e la luce del sole sono due cose distinte.

Azioni chimiche dello spettro. La luce solare è anche capace di dar luogo ad un gran numero di fenomeni chimici. Il cloro e l'idrogeno mescolati a volumi eguali, si combinano con detonazione allorquando il miscuglio è esposto all'azione dei raggi diretti del sole. I sali d'argento decompongonsi per la stessa azione ed anneriscono; l'acido nitrico ingiallisce, la sostanza verde delle piante si distrugge nell'oscurità e ricompare alla luce.

I varj raggi dello spettro non sono egualmente dotati di azione chimica. Quelli che ne sono dotati in maggior grado sono i violetti. Quest'azione chimica non si estende però al di là del raggio verde; i raggi gialli, arancioni e rossi sembrano esserne privi. Ciò può facilmente provarsi con un foglio su cui sia stato disteso uno strato bianco di cloruro di argento: vi si fa cader sopra lo spettro solare, e tosto vi si forma una macchia grigiastra, la quale stendesi dal verde fino al violetto ed anche al di là di questo limite. Il Seebeck ed il Wollaston hanno verificato che il cloruro d'argento annerisce un poco al di là del raggio violetto, cioè in un punto in cui non v'è nè luce nè calor sensibile. L'Hessler ha osservato che il massimo effetto chimico variava nello spettro a seconda della natura del prisma refrangente. Così per es. in un prisma fatto con acqua cadeva in mezzo al violetto; per l'alcool era presso al colore azzurro.

L'azione chimica dei raggi meno refrangibili dello spettro, non si mostra se non quando è già stata cominciata dalla luce bianca o dai raggi più refrangibili. Il giovine Becquerel ha potuto annerire una carta tinta col bromuro d'argento esponendola ai raggi rossi dello spettro, quando prima anche per

pochi istanti l'aveva esposta alla luce diffusa o ai raggi violetti. Quest'azione primitiva può essere appena sensibile, e si fa la esperienza coprendo il foglio con un altro che abbia delle piccole aperture. Si veggono allora, portando il foglio sui raggi rossi, comparire delle macchie nere corrispondenti a quei punti su cui la prima azione della luce ha avuto luogo. Il Becquerel perciò distingue due specie di raggi chimici, cioè gli *eccitatori*, quelli cioè posti nella parte più refrangibile dello spettro e i *continuatori*, che si trovano nella parte meno refrangibile. Se prima di fare incontrare alla luce delle carte preparate con cloruro e bromuro di argento, le si fanno attraversare dei vetri di vario colore, si osserva che alcuni di questi lascian passare i raggi continuatori ed altri i raggi eccitatori. Secondo alcune esperienze del Majocchi anche i raggi calorifici sarebbero capaci di continuare l'azion chimica eccitata dai raggi luminosi.

L'azion chimica della luce ha da varj anni ricevuto una importante applicazione, quella cioè dei così detti *disegni fotogenici*, dovuta alle infaticabili ed ingegnose ricerche di Niepce e di Daguerre. Chiamansi disegni fotogenici le immagini prodotte mediante l'azion chimica della luce su carte o su lastre metalliche ricoperte di uno strato di sostanza capace di essere alterata dalla luce. Si possono adunque preparare carte o lastre fotogeniche. Per preparare una carta che si colori rapidamente anche alla luce diffusa, il Daguerre consigliava di sceglierla senza colla e tuffarla nell'etere cloridrico debolmente acidulato, farla disseccare ed immergerla nuovamente in una soluzione di nitrato d'argento: si fa allora asciugare al bujo senza fuoco, e si conserva entro un libro per preservarla dall'azione della luce e dell'aria. Un foglio di carta così preparata, posto nel fuoco di una camera oscura riceve l'impronta degli oggetti che sopra vi dipinge la luce; ma gli oggetti chiari, come per es. il cielo, sono rappresentati in nero, mentre gli oggetti oscuri, come sarebbero gli alberi, sono rappresentati in bianco. Per impedire alla luce di alterare in seguito questo disegno, basta bagnare la carta in una quantità di acqua sufficiente a ben lavarla. Il Talbot invece prepara delle carte sensibilissime, tuffandole a più riprese alternativamente

in soluzioni deboli di sal marino e di nitrato di argento, avendo cura di lasciarle seccare ogni volta. Queste carte ricevono benissimo le immagini della camera oscura; in seguito lavansi in una soluzione concentrata di sal marino per arrestare l'azione ulteriore della luce. Ma esiste anche per queste l'inconveniente di riprodurre in nero gli oggetti chiari e viceversa. Queste prove in cui gli oggetti chiari vengono in nero, ed i neri in chiaro diconsi *negative*, e chiamansi invece *positive* quelle che riproducono gli oggetti coi chiari e gli scuri, quali sono in natura. Per ottenere le prove positive da una prova negativa, o per formare prove negative le quali a guisa di matrici producano poi quante prove positive si desiderano, bisogna preparare la carta come segue. Si spalma per mezzo di un pennello, con una soluzione di sal comune in acqua stillata, nella proporzione di 5 grani per 4 once di acqua, poi si asciuga con carta sugante; quindi preso un altro pennello si spalma con una soluzione di nitrato d'argento in acqua distillata nella proporzione di mezz'oncia del primo per 4 once della seconda; si asciuga nella stessa guisa e si conserva al bujo finchè non si vuole adoprare. Allora si pone sotto la matrice o sotto la stampa da ricopiarsi, e seccate ambedue fra due piani di vetro si espongono al sole. Bisogna però che al di sotto della carta che dee ricevere l'impressione si metta un foglio nero o un piano di lavagna per impedire l'azione della luce trasmessa da tergo. Quando l'azione del sole ha prodotto l'effetto, lo che si ricava facilmente dalla tinta di bistro cupo che prende sui lati scoperti, si mette per circa un quarto d'ora in una soluzione d'iposolfito di soda (un'oncia in 10 di acqua), e si lava a grand'acqua. È necessario aver moltissima cura che la luce del giorno non giunga sul disegno fotogenico, finchè non siasi reso insensibile colla immersione nella soluzione d'iposolfito; altrimenti le parti bianche anneriscono.

Oggidi il processo del Talbot è stato alquanto modificato. La carta per la matrice preparasi impregnandola di ioduro di argento, e dopo che è stata esposta per brevi istanti nella camera oscura all'azione della luce, prima che l'immagine vi si manifesti si tuffa in una soluzione di acido gallico, riscaldato.

dandola leggermente. Là dove l'ioduro d'argento avea subito scomposizione si forma un gallato d'argento che è nero, e perciò si ha un disegno negativo. Ma affinchè le parti chiare del medesimo non anneriscano alla luce si fa uso come nel processo di Talbot, di un bagno d'iposolfito di soda. La carta per le prove positive s'impregna di cloruro di argento, e per ottenere queste prove si pratica come nel processo di Talbot.

Il Niepce e il Daguerre osservarono che i bitumi, e massimamente i residui della distillazione degli olj essenziali erano sensibilissimi alla luce. Versata una soluzione alcoolica del residuo dell'olio essenziale di lavanda, sopra una lastra di vetro o di argento *plaqué*, si ottiene colla evaporazione uno strato bianco sottilissimo, atto a prendere dopo qualche ora l'impronta delle immagini nella camera oscura. Siccome queste immagini sono debolissime, si avvivano esponendole al vapor d'olio di petroleo. Esso penetra interamente la sostanza ove non ha avuto luogo l'azione della luce, e le dà una trasparenza tale che sembra netta affatto; al contrario dove la luce ha agito energicamente rimane il color bianco. Non di meno è assai difficile ottenere dei perfetti disegni con questo metodo.

Ma le migliori immagini fotogeniche sono quelle che ottengono senza bisogno di matrice, sulle lastre d'argento rese sensibili all'azione della luce mediante il vapor d'iodio o di bromo. Della fissazione di queste immagini discorreremo nel Capitolo degl'istrumenti ottici, dopo aver parlato della camera oscura, la quale applicata alla formazione delle immagini fotogeniche e fornita del corredo necessario a queste operazioni, ha ricevuto il nome di Daguerrotipo, in onore di Daguerre, a cui tale applicazione è dovuta.

Azione magnetica dello spettro. Morichini di Roma annunziò nel 1813 che delle sbarre di acciaio acquistavano le proprietà magnetiche per l'azione dei raggi violetti. Questo fatto è contestato da alcuni fisici che non son giunti mai a riprodurlo, e confermato da altri che l'hanno riprodotto. Nasce quindi il dubbio che tale azione del raggio violetto si manifesti soltanto in qualche particolar condizione, non ancora distinta, della luce solare.

Strie dello spettro, o *strie di Fraunhofer*. L'osservazione dello spettro per mezzo di lenti di un considerevole ingrandimento, ha fatto scuoprire al celebre ottico Fraunhofer di Monaco, che in mezzo alle strisce dei diversi colori che lo compongono, vi erano sparse in posizioni determinate delle strie o linee più o meno nere. Sono desse perpendicolari alla lunghezza dello spettro, di larghezza diversa, disegualmente distribuite nelle sette strisce colorate dello spettro, e se ne contano 600 nello spettro solare. Il loro numero e la loro posizione sono interamente indipendenti dall'angolo refrangente e dalla sostanza del prisma: esse non variano che coll'*origine* diversa dei fasci luminosi da cui si trae lo spettro. La luce dei pianeti dà le stesse strisce nere che presenta la luce solare; non è però così per la luce delle stelle di prim'ordine, e per la luce prodotta dalla scarica elettrica, dalla fiamma, o in generale dai corpi in combustione. Nello spettro di queste luci, le linee nere sono diversamente distribuite, e nello spettro della luce elettrica, oltre alle linee nere ve ne sono anche delle bianche.

Acromatismo. Nello studio che abbiamo fatto delle lenti, noi abbiamo per maggior semplicità fatto astrazione dalla ineguale refrangibilità dei raggi luminosi. Le immagini prodotte dalle lenti, erano nella stessa ipotesi incolore, ma in realtà, essendo esse l'effetto della refrazione della luce, riescono più o meno colorate. Questo difetto è conosciuto sotto il nome di *aberrazione di refrangibilità*. Le lenti possono esser considerate come un insieme di prismi determinanti la decomposizione della luce inviata dagli oggetti. Nelle immagini che formano la colorazione è nel mezzo insensibile perchè la riunione dei diversi colori riproduce la luce bianca, ma sui margini formansi delle frange iridate che alterano grandemente le immagini. È questo un difetto capitale degl'istrumenti ottici, i quali sono composti da un insieme di lenti. È stata lungo tempo questione in ottica intorno alla possibilità di ottenere la deviazione dei raggi luminosi senza che emergano decomposti e colorati. Newton ammetteva che ciò fosse impossibile. Eulero invece, fino dal 1747, considerando che gli oggetti che vediamo ad occhio nudo, non sono mai alterati da colori estranei, pensò

che il nostro occhio fosse un istrumento capace di fare sparire l'aberrazione di refrangibilità, e che in conseguenza prendendo ad imitare la costruzione di quest'organo, nel quale la disposizione e la natura dei diversi umori è tale da fare sparire questo difetto, si potesse giungere ad ottenere degl'istrumenti che ne fossero parimente esenti. L'Eulero fece varie ricerche in proposito, ma fu il celebre ottico inglese Dollond, che all'fine giunse a risolvere il problema, e a costruire degl'istrumenti ottici in cui la luce deviata non fosse decomposta. Questo risultato dicesi *acromatismo*, e chiamansi lenti *acromatiche* quelle che col loro insieme producono un tale effetto.

Per bene intendere la costruzione degl'istrumenti acromatici è necessario prima ben distinguere la dispersione dalla refrazione. La refrazione dei fasci luminosi è la deviazione che prova il raggio medio, cioè il verde; la dispersione è l'eccesso della refrazione del raggio il più refrangibile, cioè il violetto, su quella del raggio meno refrangibile, cioè il rosso; o in altri termini, è la distanza fra questi due raggi.

Se, come opinava Newton, la dispersione fosse proporzionale alla refrazione, l'effetto della dispersione non potrebbe esser distrutto senza distruggere nello stesso tempo l'effetto della refrazione, cioè a dire non vi sarebbe distruzione di colori che per dei raggi emergenti paralleli ai raggi incidenti, e in conseguenza la deviazione dei raggi non avrebbe più luogo. Così accadrebbe difatto collocando due prismi eguali e della stessa sostanza uno dietro l'altro disposti inversamente, un fascio di luce traverserebbe il doppio prisma senza scomporsi e senza esser deviato. Ma l'ipotesi di una dispersione proporzionale alla refrazione è lungi dall'esser confermata col fatto. Si osserva è vero generalmente che le sostanze che più refrangono la luce, sono anche quelle che la disperdono maggiormente; ma anche questo caso offre delle eccezioni. Così il potere dispersivo dell'essenza di trementina è più considerevole di quello del *crown glass* o vetro ordinario, mentre il suo potere refrattivo è minore.

Il *flint glass*, ossia il cristallo, ed il *crown glass* hanno presso che lo stesso poter refrattivo, ma il poter dispersivo del primo sta al poter dispersivo del secondo come 3 a 2. Vediamo

adesso come con queste due sostanze si possa formare un prisma composto che refranga la luce senza disperderla. È questa la condizione dell'acromatismo. Sia $ABCD$ questo doppio prisma (*Tav. VII, Fig. 195*). Il prisma ABC , il cui angolo A è maggiore dell'angolo C del prisma CAD , è di vetro ordinario, il prisma CAD è di cristallo. Un raggio ST di luce solare che cade sulla faccia AB del prisma ABC , sarà refratto e disperso; i due raggi estremi, il violetto ed il rosso sono indicati da TR e TV ; questi due raggi sono deviati verso la base del prisma; al loro entrare nel secondo prisma CAD , di cristallo, il cui angolo è voltato in senso opposto, ogni raggio sarà portato verso la base AD ; ma siccome il poter refrattivo è press'a poco proporzionale all'angolo, ne risulta che il fascio sarà sempre inclinato verso la base BC ; e poichè il prisma CAD ha un potere dispersivo assai maggiore di quello del prisma ABC , potrà benchè con un angolo più piccolo ricondurre verso la sua base AD il raggio violetto più del raggio rosso, in guisa che questi raggi uscendo dal prisma si sovrappongano e riproducano la luce bianca. Il calcolo insegna che è necessario impiegare dei prismi, i cui angoli sieno in ragione inversa dei poteri dispersivi.

Dopo ciò sarà facilissimo concepire delle lenti acromatiche. Si abbiano due lenti, l'una biconvessa, l'altra biconcava, unite insieme e aventi il medesimo asse AA ; (*Tav. VII, Fig. 196*) sia ST un raggio di luce bianca; esso verrà disperso nella prima lente MN biconvessa, in guisa da dare i sette raggi colorati, gli estremi dei quali segnano le direzioni TR e TV . La seconda lente $MNPQ$ fatta di cristallo, ed avente una curvatura più piccola, non potrà distruggere completamente la refrazione della prima lente, ed il raggio sarà inclinato verso l'asse; ma poichè il potere dispersivo del cristallo è molto maggiore di quello del vetro ordinario, il raggio violetto incontrerà il raggio rosso assai prima della loro uscita dalla lente; e poichè nel passaggio all'aria, la deviazione avrà luogo in senso opposto, è possibile di dare alle due lenti una tal curvatura che il punto di concorso sia sull'asse, e quindi che vi sia un sol fuoco: una lente così costruita dà delle immagini incolore. Ottenendo la sovrappo-

sizione dei soli raggi estremi dello spettro, come nei casi indicati, i colori dei raggi intermedj non spariscono completamente. Volendo fare sparire completamente anche i colori intermedj converrebbe fare uso di sette vetri diversi. Ma in generale il completo acromatismo non è necessario, e nel maggior numero dei casi basta la riunione dei due raggi estremi perchè la colorazione riesca appena sensibile.

Della visione.

Per bene intendere come i raggi luminosi che partono dagli oggetti vanno a formare le immagini su quella espansione del nervo ottico che chiamasi retina, dobbiamo succintamente descrivere quell'importante e perfetto strumento per mezzo del quale si opera la visione, cioè a dire l'occhio.

Descrizione dell'occhio. L'occhio è di forma press'a poco sferica, e sta situato in una cavità del cranio che chiamasi *orbita*. L'invoglio esterno dell'occhio consiste in una membrana fibrosa di un tessuto solido, la quale si divide in due parti distinte; l'una posteriore ed opaca, che è detta *sclerotica*, l'altra anteriore, dotata di maggior curvatura, e trasparente che è la *cornea* (*Tav. VII, Fig. 197*). Questa, a motivo della sua trasparenza dà libero passaggio alla luce. Là dove la sclerotica si assottiglia per dare origine alla cornea, trovasi distesa nell'interno dell'occhio una membrana colorata e contrattile, che è l'*iride*. Questa membrana, a cui l'occhio deve il suo colore è formata di fibre muscolari che sono in parte circolari e in parte irraggiano dal suo centro. In questo punto l'iride è traversata da un foro circolare *s s'* che chiamasi *pupilla*. La pupilla è suscettibile d'ingrandimento e di restringimento; difatti si sa che si restringe quando l'occhio è esposto ad una viva luce, e si allarga tanto più, quanto meno è intensa la luce a cui è esposta: questo fenomeno è involontario e resulta dalla contrattilità propria dell'iride. Dietro all'iride trovasi un'altra membrana detta *cristalloide*, nella quale è incassato un corpo solido, e *e'* trasparente, di forma lenticolare, detto *cristallino*. Lo spazio compreso tra la cornea e l'iride costituisce la *camera anteriore dell'occhio*, la

quale mediante l'apertura della pupilla comunica colla camera posteriore, cavità situata tra l'iride e il cristallino. Queste due camere sono ripiene di un liquido simile all'acqua, e che perciò vien detto *umor acquoso*. La cavità dell'occhio, che è compresa fra il cristallino ed il fondo dell'occhio, contiene una sostanza gelatinosa distinta col nome di *umor vitreo*. Sulla faccia interna della sclerotica è distesa una membrana di color nero, detta *coroide*, la quale è pure ricoperta da una membrana sottile, semitrasparente, formata dalla espansione della parte midollare del nervo ottico, il quale s'impianta nel fondo dell'orbita. Quest'ultima membrana è la *retina*.

Dopo questa descrizione dell'occhio sarà facile intendere la strada che i raggi luminosi vi debbono percorrere per giungere fino alla retina.

L'occhio è in realtà un istrumento ottico, costituito da una specie di camera oscura munita di un sistema di lenti convergenti. Supponiamo di avere un oggetto l l' posto dinanzi all'occhio ad una conveniente distanza (Fig. 197). Da ogni punto di quest'oggetto partono dei raggi luminosi, i quali divergono come da un centro. Il fascio di raggi che parte dal punto l è refratto e reso meno divergente dalla cornea, e dall'umor acquoso; la sua parte centrale penetra dall'apertura della pupilla e cade sul cristallino; quivi tutti i raggi che lo compongono sono resi convergenti dalla lente biconvessa che costituisce il cristallino, e vanno a concentrarsi in un sol fuoco m sulla coroide e la retina, dove producono un'immagine reale del punto l . Lo stesso dicasi del fascio di raggi luminosi che parte dal punto l' e che va a concentrarsi nel fuoco m' , situato parimente sulla retina. Perciò l'immagine degli oggetti si dipinge nel fondo degli occhi rovesciata e non diritta. È facile dimostrare che l'immagine che si forma nel fondo dell'occhio è realmente rovesciata; l'esperienza riesce benissimo con un occhio fresco di cui si assottiglia la sclerotica. Se si presenta ad un occhio così preparato una piccola fiamma, si vede, ponendosi di dietro, un'immagine rovesciata della fiamma dipinta sul fondo dell'occhio.

Una volta formatasi l'immagine dell'oggetto sulla retina, i filetti nervosi corrispondenti, messi in vibrazione da questa

luce concentrata comunicano il loro movimento al nervo ottico, che lo trasmette al cervello per farci avere la sensazione dell'oggetto stesso.

La funzione dell'umor vitreo si è quella di contribuire alla convergenza dei raggi che entrano nell'occhio. La materia nera sottostante alla retina, e che investe tutto il fondo dell'occhio e la parte posteriore dell'iride, serve ad assorbir la luce appena essa abbia traversato la retina. La qual luce se venisse a riflettersi verso altri punti della membrana guasterebbe la visione confondendo le immagini dipinte in fondo all'occhio; quindi gli uomini e gli animali affetti da albinismo, privi cioè di quel pigmento, hanno la visione imperfettissima. Di giorno vedono appena, e discernono assai bene gli oggetti soltanto alla luce crepuscolare.

Per completare lo studio del fenomeno della visione, ci resta ad esaminare alcune questioni importanti. La prima ricerca da farsi si è quella di sapere come avviene che l'occhio può vedere con eguale chiarezza tanto gli oggetti distanti pochi pollici, quanto quelli che gli stanno a grande distanza, sebbene sia noto che l'immagine di un corpo or s'allontana ed or si avvicina alla lente secondo che il corpo s'avvicina o s'allontana dalla parte opposta della lente stessa. Onde spiegare questa proprietà dell'occhio di adattarsi a vedere distintamente gli oggetti a differenti distanze furono immaginate differenti ipotesi. Si suppose da alcuni che il diametro dell'occhio possa variare dall'innanzi all'indietro sotto l'influenza della pressione dei muscoli che fanno muovere quest'organo, in modo da avvicinare la retina al cristallino, o da allontanarlo, nel medesimo tempo che anche l'immagine si avvicina o si allontana. Altri attribuirono al cristallino una proprietà contrattile, per la quale possa assumere una forma più o meno convessa in modo da far sempre convergere i raggi sulla retina. Infine da alcuni si ammise che la chiarezza della visione a distanze molto differenti provenga non già dagli spostamenti della retina o del cristallino per cui l'immagine venga sempre a formarsi sulla retina, ma dalla piccolezza delle variazioni della distanza focale del cristallino a misura che gli oggetti si allontanano,

onde resulti che l'immagine conservi sempre una sufficiente chiarezza.

Dobbiamo inoltre esaminare come avvenga il giudizio della posizione, della distanza, della grandezza di un oggetto, dei suoi rapporti cogli altri che lo circondano, e qual è l'ufficio dei due occhi.

Giudizio della posizione degli oggetti. Abbiamo veduto che le immagini che si formano sulla retina sono rovesciate; come avviene adunque che noi vediamo gli oggetti diritti, vale a dire al rovescio delle loro immagini? Al dire di alcuni ciò proviene dall'abitudine che acquista l'occhio, coadiuvato dal senso del tatto, di giudicare della vera posizione degli oggetti. Altri suppongono che vedendo noi simultaneamente tutti gli oggetti rovesciati, nessuno di essi possa sembrarci a rovescio, non restandoci alcun termine di confronto. D'Alembert riteneva che siccome noi riferiamo il luogo degli oggetti nella direzione dei raggi luminosi che essi emettono, e siccome questi raggi incrociansi nel cristallino, dobbiamo vedere gli oggetti nella loro effettiva posizione.

Giudizio della grandezza degli oggetti. I raggi che partono dalle estremità di un oggetto e che giungono all'occhio di un osservatore s'incrociano all'apertura della pupilla, formando un angolo che dicesi *angolo visuale*. Questi raggi s'incrociano al loro incontro formando degli angoli eguali opposti al vertice, e giungono alla retina ove dipingono l'immagine dell'oggetto più o meno grande a seconda della sua distanza dall'occhio dell'osservatore. Supponiamo per esempio due oggetti *A B* e *C D* (Tav. VII, Fig. 198), posti ad ineguale distanza dall'osservatore. I raggi che partono dalle estremità di questi oggetti s'incontrano all'orifizio della pupilla *O*, e formano degli angoli visuali diversi *A O B*, *C O D*. Gli stessi raggi s'incrociano al loro incontro e anderanno a formare sulla retina *M M* due immagini ineguali *G L* e *H K*. Si vede che l'immagine *G L* che rappresenta l'oggetto più vicino all'occhio dell'osservatore è più grande dell'immagine *H K* che rappresenta l'oggetto più lontano. Adunque due oggetti della stessa grandezza formano sulla retina delle immagini di diversa grandezza, secondo la loro distanza, o in altri termini secondo

l'angolo visuale sotto cui sono veduti. Quanto abbiamo detto ci spiega perchè gli oggetti lontani ci sembrano più piccoli di quello che sono realmente.

Il giudicare che facciamo della grandezza degli oggetti dall'apertura dell'angolo visuale, produce talora delle illusioni ottiche più o meno singolari. Ognuno sa, per esempio, che se ci troviamo all'estremità di un viale, le due fila di alberi che lo fiancheggiano sembrano convergere all'estremità opposta, e gli alberi sembrano successivamente diminuire di grandezza. Questo effetto proviene da ciò che le parti lontane del viale sono vedute sotto degli angoli visuali sempre più acuti; e se il medesimo si prolungasse molto, gli angoli visuali finirebbero per divenire sensibilmente nulli e le fila degli alberi parrebbero riunirsi. Parimente, allorquando osserviamo delle montagne molto lontane, poichè le vediamo sotto un angolo visuale molto piccolo, ci sembra che occupino poco spazio nel campo della visione; ma abituati come siamo agli effetti della prospettiva, sappiamo rettificare coteste apparenze illusorie, e giudicare convenientemente della vera grandezza degli oggetti.

Valutazione della distanza degli oggetti. Si chiama *asse ottico*, la linea lungo la quale l'occhio si dirige per vedere distintamente un oggetto. Noi giudichiamo della distanza di un oggetto dall'angolo che fanno gli assi dei due occhi diretti sopra uno stesso punto di quest'oggetto. Si è dato a quest'angolo il nome di *angolo ottico*. Il frequente confronto della distanza degli oggetti col movimento degli occhi, ci ha dato l'abitudine di giudicare della distanza dalle impressioni congiunte a questi movimenti. Egli è per questo che se noi adopriamo un solo occhio non possiamo determinare che molto imperfettamente le distanze, e non si potrà giungere con un sol occhio a determinarle con perfezione che dopo un lungo uso.

Quando gli oggetti sono molto lontani, allora gli assi ottici dei due occhi che li guardano sono sensibilmente paralleli. In questo caso non si ha più una regola sicura per determinare la loro distanza. Allora si ricorre a delle considerazioni più o meno ingannevoli, come per esempio lo splendore della luce, la nettezza dei dettagli, la grandezza degli oggetti stessi, se ci sono noti, ec.

Unità d'impressione prodotta nei due occhi. Benchè ogni oggetto che osserviamo abbia la sua immagine in ciascuno dei due occhi, noi non vediamo gli oggetti doppi. Ciò dipende perchè quando le immagini colpiscono dei punti corrispondenti delle due retine la sensazione è una sola. Non è più così quando i due assi ottici non concorrono più verso lo stesso punto; in questo caso le immagini non cadono più su delle parti corrispondenti delle retine, e la sensazione non è più unica. Difatti sappiamo che se noi premiamo uno dei nostri occhi, mentre guardiamo un oggetto, in modo da dargli una direzione diversa dall'altro, vediamo gli oggetti doppi. Negli accessi dell'ubriachezza, in cui l'uomo non è più capace di dirigere i suoi occhi, accade spesso di veder doppi gli oggetti.

Ufficio dei due occhi nella visione. In primo luogo l'ufficio dei due occhi nella visione si è quello di rendere questa funzione molto più chiara e distinta. Ognuno potrà facilmente convincersi con semplicissime esperienze fatte sopra sè stesso, quanto più lucenti e distinti appaiono gli oggetti visti coi due occhi, di quello che con un solo. Ma dalle esperienze di Brewster risulta ancora una differenza essenziale tra la visione con due occhi e quella con un solo; vale a dire che soltanto coi due occhi si può avere una percezione netta del rilievo dei corpi, vale a dire delle loro tre dimensioni. Allorquando noi guardiamo con ambedue gli occhi un oggetto situato a poca distanza, dovendo i due assi convergere verso l'oggetto, ne risulta che la prospettiva cangia per ciascun occhio e che le due immagini sono sensibilmente ineguali; il che si può facilmente costatare guardando alternativamente un medesimo oggetto con ciascun occhio. Ora la percezione del rilievo sembra risultare dalla percezione simultanea di queste due immagini. Weathstone ha immaginato un apparecchio ingegnoso, da lui chiamato *stereoscopio*, che serve a render sensibile l'effetto della visione coi due occhi per l'estimazione del rilievo dei corpi. Quest'apparecchio consiste in una piccola scatola di legno, la cui parete superiore porta due tubi direttori degli assi ottici. Sopra il fondo della scatola vi sono due disegni che ciascun occhio vede isolatamente attraverso di un vetro convergente collocato nel tubo. Questi disegni rappresentano il medesimo oggetto, ma veduto

con una prospettiva differente, che è precisamente quella che corrisponderebbe all'asse ottico di ciascun occhio, se esso guardasse l'oggetto ad una piccola distanza. Ne segue adunque che guardando attraverso ai due tubi, ciascun occhio riceve la medesima impressione come se guardasse l'oggetto rappresentato, e ne risulta una percezione tanto distinta e viva del rilievo che l'illusione è completa e sorprendente.

Della persistenza delle immagini nell'occhio. La sensazione prodotta dalla luce sulla retina sussiste ancora un poco dopo che cessò di agire la luce, come lo dimostra l'arco luminoso che vedesi girando rapidamente un carbone acceso attaccato all'estremità di una fionda. La durata della persistenza della sensazione può misurarsi dal tempo che impiega il carbone rotante a ritornare in una data posizione. Secondo Plateau, essa è di circa $\frac{5}{10}$ di secondo. Non di meno la durata della impressione è tanto più lunga quanto più intensa è la luce. Così per esempio la palla di un cannone non si lascia vedere, e non forma la striscia luminosa di una stella cadente per la poca intensità della sua luce.

Moltissime sono le illusioni che derivano dalla persistenza delle immagini; l'ingrossamento delle corde in vibrazione, la scomparsa dei raggi di una ruota che gira rapidamente, la coda di luce delle stelle cadenti, il color bianco che mostra un disco rotante dipinto dei sette colori dell'iride, dipendono tutti da questa cagione. Se la luce è istantanea tutti questi fenomeni cessano, ed ecco perchè giudicammo istantanea la luce della scintilla elettrica nelle esperienze di Wheatstone.

Un apparecchio ingegnoso fondato sul fatto della persistenza delle impressioni luminose è il *fantascopo* di Plateau. Consiste in un disco di cartone sulla periferia del quale sono dipinte tante figurine identiche nel vestiario ed in tutte le loro forme, meno che nei movimenti: queste figurine sono di seguito disposte in modo da rappresentare le posizioni progressive di un dato esercizio, come sarebbe suonare un violino, ballare ec.; esse son vedute dall'osservatore attraverso tante aperture corrispondenti praticate in un altro disco di cartone, disposto sul medesimo asse del primo. Mettendo i due dischi a girare sullo stesso asse, l'occhio riceve l'impressione di

ognuna delle posizioni delle figurine per il passaggio di ogni apertura, e conserva questa impressione fino alla impressione della posizione che segue, di modo che l'occhio vede come una sola figura in movimento.

Dei colori accidentali. Quando i corpi cessano di apparirci coi loro colori naturali, si dice allora che prendono dei colori accidentali. I colori accidentali si distinguono poi in *passaggieri* e *permanent*i.

1.^o Quando dopo aver guardato il sole per alcuni istanti, si chiudono gli occhi, l'immagine durante la sua persistenza prende diversi colori; quando dopo aver guardato un corpo vivamente colorito, si portano subitamente gli occhi sopra un corpo di un altro colore, si prova una sensazione complessa che si compone dell'immagine attuale del secondo corpo e della immagine persistente del primo; perciò il secondo corpo non è visto col suo colore naturale. Questi due esempj bastano a darci un'idea dei colori accidentali passeggeri, sui quali sono state fatte diverse teorie che a noi poco interessa esaminare; 2.^o Quando un corpo colorito è sopra un fondo nero, appare col suo colore naturale, ma quando sullo stesso fondo nero si viene a porre presso di lui un secondo corpo di colore diverso, questi due corpi s'influenzano scambievolmente, i loro colori cambiano, e il nuovo colore prodotto deriva dalla sovrapposizione dei colori complementarj di quelli dei due corpi. Così se i due corpi sono l'uno violetto e l'altro aranciato, il colore accidentale che si produrrà sarà il verde, che è appunto il colore formato dal giallo e dal blu, complementarj l'uno del violetto, l'altro dell'aranciato. È questo un esempio di un colore accidentale permanente. Questi fenomeni sono stati studiati attentamente da Chevreul, il quale ne ha tratte delle applicazioni importanti per l'arte di accozzare i colori.

Presbitismo e miopismo. Diconsi *presb*iti quelli che hanno la vista molto lunga, cioè a dire che veggono distintamente gli oggetti lontani, e confusamente i vicini. Queste persone sono obbligate a porre a 50 e 60 centimetri di distanza un foglio che vogliono leggere. L'infermità da cui sono affette, e che viene ordinariamente coll'età, proviene dalla poca con-

vessità della cornea che la rende meno atta a convergere i raggi luminosi. Per questo schiacciamento della cornea, il fuoco dei raggi che partono dal punto della visione distinta ordinaria andrebbe a farsi al di dietro della retina, e i raggi che penetrano nell'occhio colpiscono la retina prima di essersi riuniti in un fuoco. Onde questo fuoco si formi sulla retina conviene che un presbita tenga l'oggetto lontano. Il rimedio a questo difetto è l'uso delle lenti convergenti, le quali diminuiscono la divergenza dei raggi prima che entrino nell'occhio.

I *miopi* hanno invece la vista corta: per vedere distintamente gli oggetti hanno bisogno di avvicinarli molto all'occhio; in lontananza veggono molto confusamente. Questo difetto dipende da una curvatura troppo grande della cornea, che la rende molto atta a convergere i raggi luminosi, dimodochè i raggi che provengono dalla distanza della visione ordinaria formano il loro fuoco prima di giungere sulla retina. I raggi divergeranno nuovamente da quel fuoco, e sulla retina formeranno un'immagine confusa. Il rimedio dei miopi consiste invece nell'uso delle lenti divergenti o concavo concave.

Distanza della visione distinta. Chiamasi così la distanza alla quale l'occhio vede distintamente e senza sforzo degli oggetti assai piccoli, come per esempio il carattere da stampa. Essa varia da 8 a 12 pollici secondo gl'individui, cioè da 22 a 32 centimetri.

Principali istrumenti ottici.

Microscopio semplice. Il microscopio semplice non è altro che una lente convergente a corto fuoco, che serve per vedere distintamente i piccoli oggetti, i quali se fosser posti alla distanza della vista distinta, cioè a circa 30 centimetri, mancherebbero sulla retina una luce troppo debole e circoscritta in uno spazio troppo ristretto per produrre in quest'organo una immagine insufficientemente distinta in ogni sua parte. Volendo vedere l'oggetto con delle dimensioni più grandi basterebbe avvicinarlo molto all'occhio, lo che accrescerebbe l'angolo visuale, per cui un piccolo oggetto *a b* (*Tav. VII, Fig. 199*), si-

tuato vicinissimo all'occhio apparirebbe grande quanto un oggetto $a' b'$ posto alla distanza della visione distinta, e compreso fra il prolungamento dei raggi visuali $o b$, $o a$ fino a quella distanza. Peraltro l'immagine sarebbe molto confusa perchè la divergenza dei raggi partiti dall'oggetto sarebbe troppo grande al loro entrare nell'occhio, e quindi ciascun fascio nell'uscire dal cristallino non avrebbe il suo punto di concorso sulla retina, o abbastanza vicino ad essa. Una lente di un fuoco cortissimo posta fra l'occhio e l'oggetto diminuisce la divergenza dei suoi raggi in guisa da averne un'immagine distinta. Quindi il piccolo oggetto $a b$ sarà veduto distintamente grande come $a' b'$. Dunque l'ufficio del microscopio semplice si è quello di permettere al nostro occhio di osservare distintamente in gran vicinanza i piccoli oggetti. Onde sieno veduti distintamente, conviene situarli al di là della lente ad una distanza poco minore della distanza focale principale. Per questa ragione essa li ingrandisce nel rapporto di $a b$ ad $a' b'$ o di $o d$ a $o D$, cioè a dire approssimativamente nel rapporto della sua distanza focale principale, alla distanza alla quale l'occhio distingue nettamente gli oggetti. Perciò quanto più le lenti saranno a fuoco corto, tanto più ingrandiranno gli oggetti, perchè permetteranno di osservarli più da presso. Le lenti le più convesse sono adunque le migliori.

Si formano lenti di un gran potere d'ingrandimento fondendo l'estremità di un filo di vetro sottilissimo per formare una goccia che abbia un quarto di millimetro di grossezza. Questa goccia s'incassa in un foro fatto in una lamina di piombo. Si ottiene anche un microscopio di fortissimo ingrandimento introducendo una goccia d'acqua in un foro fatto in una foglia sottilissima di metallo, ma l'evaporazione presto la distrugge.

Camera oscura. Abbiamo già descritto la camera oscura nella sua maggiore semplicità; abbiamo detto che consiste in una stanza oscura chiusa da tutte le parti, e in cui la luce non entra che da un foro praticato in una parete. Si vide che gli oggetti esterni, i cui raggi penetravano per quel foro andavano a dipingersi rovesciati sulla parete opposta. La prima idea della camera oscura sembra dovuta a Leonardo da Vinci,

ma Giovan Batista Porta la perfezionò singolarmente aggiungendovi una lente incastrata nel foro per cui penetra la luce, la quale fa ottenere le immagini infinitamente più distinte. Della camera oscura se ne è fatto un istrumento assai comodo per disegnare delle vedute, copiandole sulle immagini degli oggetti stessi. Perciò si è ridotta ad una cassa di legno portatile alla quale si è adattata una lente convergente (*Tav. VII, Fig. 200*). Gli oggetti esterni vanno a dipingersi nel fondo della cassa in posizione rovesciata, ma possono benissimo raddrizzarsi le immagini ricevendole sopra uno specchio $m n$ inclinato di 45° . L'immagine va allora a dipingersi in $a'' b''$ sopra un vetro spulito, di modo che un osservatore, il cui sguardo è diretto verso l'oggetto $a b$ vede questa immagine in situazione diritta.

Se gli oggetti sono molto lontani formano le loro immagini al fuoco principale della lente; se sono solamente alla distanza di quindici o venti volte la distanza focale principale, formano le loro immagini ad una distanza sensibilmente più grande; allora convien portare il quadro un po' più lungi dalla lente o dall'obiettivo.

La grandezza assoluta delle immagini dipende dalla distanza focale principale secondo la regola seguente, cioè, che dal centro ottico della lente, l'oggetto e l'immagine sono veduti sotto lo stesso angolo. Perciò le immagini degli oggetti lontani sono sempre molto più piccole degli oggetti stessi.

Talvolta si dà un'altra forma alla camera oscura (*Tav. VII, Fig. 201*). In questo caso la lente è orizzontale, il suo asse è verticale, ed è posta nella parte superiore della cassa. In questa posizione non potrebbe dare che un'immagine dei punti del cielo che avvicinano lo *zenith*; ma lo specchio $e f$ situato presso di essa, le somministra i fasci luminosi che vengono dagli oggetti terrestri situati più o meno lontani, secondo l'inclinazione che gli si dà.

Microscopio solare. Il microscopio solare è destinato a dare nella camera scura un'immagine reale e molto ingrandita di piccolissimi oggetti. Dicesi solare perchè è per mezzo della luce solare che s'illuminano gli oggetti che ci proponiamo di osservare. Si compone di uno specchio piano $P Q$ (*Tav. VII, Fig. 202*),

posto al di fuori delle imposte di una finestra e situato in guisa da riflettere i raggi solari che ricevonsi in un tubo che fa parte dell'istrumento. All'origine di questo tubo è situata una lente αy , che raccoglie i raggi che le manda lo specchio $P Q$, e li concentra sull'oggetto che si vuole ingrandire, in modo da illuminarlo fortemente. Al di là di quest'oggetto trovasi una lente $C D$, disposta in modo che l'oggetto che si esamina, si trovi posto ad una distanza da questa lente, maggiore del suo fuoco principale. Allora si forma dall'altro lato della lente una immagine ingrandita dell'oggetto che va a dipingersi rovesciata in $E F$ sopra un muro bianco o sopra una tenda distesa a pochi piedi di distanza nell'interno della camera, la quale deve essere molto oscurata pel successo dell'esperienza.

È facile intendere dall'ispezione della figura, che le dimensioni degli oggetti veduti al microscopio solare, aumentano in ragione dell'allontanamento del piano sul quale vanno a dipingersi, e tanto più quanto più corto è il fuoco della lente. Il vantaggio di questo istrumento consiste nel rappresentarci gli oggetti in dimensioni molto maggiori di qualunque altra specie di microscopio; ma è vero però che quanto più queste dimensioni ingrandiscono, tanto meno chiara diviene l'immagine. Si è riusciti non di meno ad ottenere dei forti ingrandimenti e delle immagini distintissime, concentrando la luce sull'oggetto per mezzo di lenti acromatiche. Un inconveniente grandissimo del microscopio solare si è il forte riscaldamento che soffrono gli oggetti posti in osservazione, per cui ben tosto si alterano. Donnè e Foucault hanno recentemente riparato a questo difetto adoprando per sorgente luminosa la fiamma del gas ossidrogeno spinta contro un pezzo di calce viva, ovvero la luce che dà una forte pila fra due frammenti di carbone.

Lanterna magica. Questo istrumento inventato dal Padre Kircher non è che un imperfetto microscopio solare, in cui la fiamma di una lampada rimpiazza la luce del sole, ed in cui gli oggetti sono delle figure grottesche dipinte su delle lamine di vetro con colori trasparenti. Si compone di una lampada P (Tav. VII, Fig. 203), d'uno specchio concavo M , e di due lenti convergenti C e C' , il cui solo effetto è di rischiarare

convenientemente l'oggetto O , gettando sulla lamina di vetro un cerchio luminoso molto lucente; infine di una lente $L L'$ che deve produrre le immagini sopra un quadro bianco. L'oggetto O essendo posto un poco al di là del fuoco principale della lente, deve avere la sua immagine reale ad una distanza più o meno grande dall'altro lato di questa lente. È questa immagine ingrandita che forma lo spettacolo della lanterna magica. Per dargli maggiore chiarezza, si ha cura di far le esperienze in una camera completamente oscura. Per osservare le immagini diritte si collocano gli oggetti dipinti rovesciati. Facendo variare con apposito meccanismo, che si fa muovere colla mano, la distanza dell'oggetto dalla lente, si ottengono delle immagini di grandezza diversa, di modo che di piccole che sono in principio si possono far divenire grandi a poco a poco, e viceversa di grandi si possono far divenire lentamente assai piccole, per cui l'osservatore situato nella oscurità, crede di vederle avvicinare o allontanare da sé. Si ha allora la così detta *fantasmagoria*. In questo apparecchio le figure invece di esser dipinte sul vetro trasparente come nella lanterna magica, lo sono invece sopra un vetro annerito ed opaco, laonde esse sole sono trasparenti, e la loro immagine proiettata sopra un diaframma trasparente di mosolina, si fa visibile anche nell'oscurità.

Camera lucida. Questo apparecchio serve a tracciare l'immagine esatta d'un oggetto, di un edificio, d'un paesaggio ec. Si compone essenzialmente di un prisma quadrangolare $abcd$ (Tav. VII, Fig. 204), di cui b è un angolo retto e d un angolo ottuso di 135° . La faccia cb è rivolta verso l'oggetto che si vuol disegnare, e riceve perpendicolarmente i raggi luminosi che ne emanano. Questi raggi nel loro ingresso nel prisma non subiscono alcuna deviazione, ma subiscono due volte la riflessione totale, prima in r e poi in r' , ed emergono infine perpendicolarmente alla faccia ab del prisma. Se l'occhio è posto al di sopra della faccia ab del prisma, in modo che il suo mezzo corrisponda presso a poco al vertice a , è evidente che colla metà della pupilla si vedrà per riflessione la immagine dell'oggetto x sul prolungamento di cr , cioè a dire al di sotto del prisma. Coll'altra metà della pupilla si potrà

vedere il foglio su cui l'immagine parrà proiettata, e la punta della matita colla quale se ne vorranno tracciare i contorni e le parti. Il difetto principale della camera lucida di Wolaston consiste nelle successive apparizioni e disparizioni della punta della matita prodotte dai più piccoli movimenti dell'occhio, e che stancano grandemente la vista.

Giov. Batt. Amici ha immaginato una camera lucida in cui l'accennato difetto non esiste. La camera lucida dell'Amici consiste in uno specchio metallico, la cui superficie AB è inclinata di 135° sulla superficie DC di una lamina di vetro $DCEF$ a faccie parallele (Tav. VII, Fig. 205). I raggi SI degli oggetti sono riflessi prima dallo specchio, poi dalla faccia anteriore del vetro, in modo da divenire perpendicolari alla primitiva loro direzione. L'occhio situato in O , scorge l'oggetto lontano in Q , alla superficie di un foglio, sul quale l'immagine può esser disegnata.

Microscopio composto. Nel microscopio composto sono impiegate due lenti; l'una per ingrandire l'oggetto, e che è denominata *obiettivo*, l'altra agisce come il microscopio semplice e dicesi *oculare*. Esaminiamo qual'è la strada dei raggi luminosi nel microscopio composto.

Supponiamo che un oggetto AB (Tav. VII, Fig. 206), sia posto dinanzi la lente CD , a una distanza un poco maggiore di quella del fuoco principale della lente. I raggi che partono dal punto A di quest'oggetto traverseranno il centro della lente, e seguiranno la direzione $AE L$: quelli che partono dall'altra estremità B del medesimo oggetto seguiranno la direzione $BE M$. Essi andranno adunque a formare dietro la lente in ML , sopra un vetro spulito, o su di una tela sottile, l'immagine rovesciata dell'oggetto AB . I raggi che continuano a propagarsi, incontrano l'oculare GH , situato in modo che la distanza dell'immagine ML dalla lente, sia un po' minore della distanza focale. In questo caso l'occhio di un osservatore posto alla distanza della vista distinta in O vedrà l'immagine virtuale di ML dallo stesso lato della lente in FK . Questa immagine, che è pure quella dell'oggetto AB , sarà rovesciata rapporto a quest'oggetto, e avrà delle dimensioni molto più considerevoli, poichè sarà vista sotto l'angolo visuale FOK .

L'ingrandimento totale prodotto da un microscopio composto è eguale al prodotto degli ingrandimenti che risultano da ciascuna delle sue lenti. Se per es. l'obiettivo ingrandisce 5 volte in diametro e l'oculare 10 volte, l'ingrandimento sarà di 50 volte in diametro, e quindi di 2500 volte in superficie. L'ingrandimento è tanto più grande quanto più corto è il fuoco dell'obiettivo e dell'oculare; ma esso ha un limite, attesa la difficoltà di costruire regolarmente delle piccolissime lenti e la necessità di conservare all'oculare delle dimensioni assai grandi.

Il microscopio è generalmente composto di tre tubi infilati l'uno dentro l'altro (*Tav. VII, Fig. 207*). Al tubo superiore *AB* è fisso l'oculare *PR*; questo primo tubo chiamasi *porta oculare*; esso scorre a sfregamento nel tubo *CD*, che a sua volta può scorrere in un tubo più largo *FH*. Nel fondo di questo è fissata la lente obiettiva *mn*. Ecco perchè distinguesi col nome di *porta obiettivo*. In *IK* è situato un diaframma circolare di un diametro noto. Si fa muovere il porta oculare finchè non si vede distintamente il diaframma, che è allora situato al punto in cui dovranno dipingersi le immagini degli oggetti che si vogliono osservare. Sotto l'obiettivo è situato il porta-oggetti, consistente in un anello doppio destinato a ricevere la lamina di vetro *ST* su cui pongonsi gli oggetti. Questo porta-oggetti può alzarsi o abbassarsi a piacere per mezzo di una vite.

I tubi del microscopio sono internamente anneriti, onde i raggi obliqui che cadono sulla loro superficie vengano assorbiti. Le lenti sono acromatiche. Gli oggetti che vogliono osservarsi debbono essere fortemente illuminati: se sono trasparenti s'illuminano per di sotto mediante uno specchio concavo *V*, mentre se sono opachi s'illuminano di sopra per mezzo di una lente convergente.

Volendo costruire un microscopio più comodo per l'osservatore, si pone l'obiettivo in *b'* verticalmente, e per mezzo del prisma *r* si fanno ripiegare i raggi orizzontalmente sopra l'oculare (*Tav. VII, Fig. 208*). L'osservatore con questa disposizione può star seduto.

Il microscopio il più perfetto che si conosca è quello del Prof. Amici, il quale è giunto a comporre l'obiettivo con tre lenti

acromatiche, composte ciascuna di tre vetri, le quali avendo una grande apertura posseggono al tempo stesso un gran potere amplificante. Descriveremo brevemente questo microscopio. Esso è rappresentato nelle *Figure 209 e 210 della Tav. VII*. L'obiettivo *E* è formato dalle tre lenti acromatiche ora accennate. L'oculare *A H* è formato di due lenti. Il tubo del canocchiale può essere disposto a piacimento orizzontalmente o verticalmente. Nel primo caso è a gomito, e porta nell'angolo il prisma rettangolare *P* destinato a ripiegare i raggi che partono dall'oggetto. L'oculare trovasi in *A*, ed un poco innanzi a questa v'ha un'altra lente *H*, detta oculare del Campani, la quale concentrando maggiormente la luce dà una maggior chiarezza. L'oggetto vien posto sul porta-oggetti *B* tra due laminette di vetro *C*. Questo portaoggetti può essere sollevato od abbassato mediante un piccolo rocchetto che ingrana in un'asta dentata, e che si fa girare mediante un bottone *D*. *M* è lo specchio che illumina l'oggetto per riflessione, se desso è trasparente; *L* la lente che vi concentra sopra la luce quando è opaco. Quando vuolsi disporre verticalmente il microscopio, si toglie il pezzo a gomito *G*, ed in suo luogo si dispone sull'obiettivo *E* il tubo *A* che porta l'oculare. Si può dare al microscopio anche una posizione inclinata. A questo scopo si toglie una eltiavarda, che ferma l'apparecchio alla sua parte inferiore, e si fa girare tutto il sistema sopra una cerniera *a*, la quale collega il microscopio con una colonna cilindrica che gli serve di sostegno.

L'ingrandimento che ottiensi col microscopio si misura mercè quell'istrumento che vien detto *micrometro*. Consiste in una piccola lamina di vetro, sulla quale sono tracciate col diamante delle linee parallele distanti l'una dall'altra di $\frac{1}{10}$ o di $\frac{1}{100}$ di millimetro. Si colloca il micrometro dinanzi all'obiettivo, poi in luogo di ricevere direttamente nell'occhio i raggi emergenti dall'oculare *O* (*Tav. VII, Fig. 211*), si fanno cadere sopra una lamina di vetro a facce parallele *A* inclinata a 45° , e si colloca l'occhio al di sopra, in modo da vedere l'immagine delle linee del micrometro formata per riflessione sopra una scala divisa in millimetri che è tracciata sopra un diaframma *E*. Contando allora il numero di divisioni della scala

che corrisponde ad un certo numero di divisioni dell'immagine se ne deduce l'ingrandimento. Se per esempio l'immagine occupa sulla scala un'estensione di 45 millimetri e comprende 15 divisioni del micrometro, supponendo che l'intervallo di queste sia di $\frac{1}{100}$ di millimetro, la grandezza assoluta dell'oggetto sarà di $\frac{1}{100}$ di millimetro, e siccome quella dell'immagine è 45 millimetri, l'ingrandimento sarà il quoziente di 45 per $\frac{1}{100}$, cioè 300.

Canocchiale astronomico. Il canocchiale astronomico è il più semplice di tutti i canocchiali; esso è formato come il microscopio composto di due lenti, vale a dire un obiettivo ed un oculare, ma nel canocchiale astronomico l'obiettivo ha un fuoco lunghissimo, mentre nel microscopio ha un fuoco molto corto. Questo istrumento è intieramente destinato all'esame dei corpi celesti, e da ciò il suo nome. L'obiettivo *M* (Tav. VIII, Fig. 212) dà un'immagine rovesciata *a b* dell'astro che si prende di mira, la quale è collocata tra l'oculare *N* ed il suo fuoco principale; e quest'oculare che fa l'effetto di un microscopio semplice, dà quindi un'immagine *a' b'* virtuale della immagine *a b* diritta ed assai ingrandita. Questo istrumento ha nel suo modo di agire molta analogia col microscopio, ma ne differisce perchè in quest'ultimo trovandosi l'oggetto assai vicino all'obiettivo, l'immagine si forma molto al di là del fuoco principale, ed è assai amplificata, di modo che l'ingrandimento è prodotto e dall'obiettivo e dall'oculare; mentre nel canocchiale astronomico essendo assai lontano l'oggetto che si guarda, i raggi incidenti sono paralleli, e l'immagine che si forma al fuoco principale dell'obiettivo è molto più piccola dell'oggetto. Adunque l'ingrandimento non può essere prodotto che dall'oculare, il quale a questo intento si fa molto convergente.

Canocchiale terrestre. Il canocchiale astronomico di sopra descritto presenta un inconveniente, il quale mentre è di poco valore per le ricerche astronomiche non ne permette l'uso nell'osservazione degli oggetti terrestri, poichè li fa vedere rovesciati. Nel canocchiale terrestre si raddrizzano le immagini aggiungendo altri due vetri. *SP* sia un oggetto terrestre (Tav. VIII, Fig. 213); esso darà un'immagine rovesciata *P' S'* che l'occhio può vedere in *O*, sotto l'angolo *O*: l'istrumento così disposto

non sarebbe altro che il canocchiale precedente. Si aggiungono altre due lenti B ed E ; la lente E è talmente disposta che il punto O ne è il fuoco; i due fasci luminosi partendo dal fuoco O sortiranno parallelamente all'asse; ma poichè i raggi che compongono ogni fascio sono paralleli, dovranno uscire dalla lente E convergenti, concorrere al fuoco K e dare una immagine raddrizzata $P'' S''$. Questa immagine è quella che si osserva coll'oculare e che è veduta sotto l'angolo $x y z$.

Canocchiale di Galileo. Il canocchiale astronomico fa vedere gli oggetti rovesciati; quello terrestre a motivo delle molte lenti assorbe una considerevole quantità di luce, dimodochè nè l'uno nè l'altro sono di un uso comodo per osservare gli oggetti terrestri poco rischiarati. Se si cambia la lente convergente del canocchiale astronomico in lente divergente, si ottiene un canocchiale che ha il doppio vantaggio di produrre poca perdita di luce e di far vedere gli oggetti nella loro posizione naturale. Siffatto è il *canocchiale di Galileo* o *canocchiale da teatro*.

Un oggetto lontano PS (Tav. VIII, Fig. 214) anderà a formare la sua immagine in $P' S'$; se vi si pone un diaframma o se si riceve sopra un oculare, come nel canocchiale astronomico, si vedrà rovesciata; ma sarà raddrizzata, se prima dell'immagine $P' S'$ si fissa una lente divergente B . Allora ogni fascio sarà deviato ed allontanato dall'asse, talchè farà d'uopo che l'occhio sia posto vicinissimo all'oculare a fine di ricevere la luce. È evidente che l'oggetto parrà diritto, poichè il punto S' sarà visto in S'' , e il punto P' in P'' .

Il canocchiale di Galileo fu adoprato pel primo nelle osservazioni astronomiche. Con questo istrumento il celebre astronomo scoprì le montagne della luna, i satelliti di Giove e le macchie del sole.

Non si conosce l'epoca della invenzione dei canocchiali. Alcuni ne attribuiscono la scoperta a Ruggero Bacone nel secolo XIII, altri a Giov. Batt. Porta alla fine del secolo XVI; altri infine a Giacomo Mezio olandese, il quale dicesi che verso il 1609, combinando a caso due lenti, l'una convessa e l'altra concava, trovò che gli oggetti apparivano più grandi e più vicini.

Telescopj. Diconsi telescopj tutti quegli istrumenti che servono a vedere gli oggetti lontani, e particolarmente gli astri. Il canocchiale astronomico ed il canocchiale di Galileo sono dunque telescopj. Ed infatti essi ebbero già questo nome e si distinguevano col titolo di *telescopj per refrazione* o *telescopj diottrici*; ma oggidì chiamansi particolarmente telescopj quegli apparecchi nei quali si approfitta insieme della riflessione e della refrazione per mezzo di specchi e di lenti, allo scopo di mostrare gli oggetti lontani. In tutti i telescopi v'ha un grande specchio concavo di metallo rivolto verso l'oggetto, e che ne produce una immagine reale e rovesciata. Uno dei più celebri è il *telescopio di Gregory* (Tav. VIII, Fig. 215). Il grande specchio concavo M è traversato nel suo centro da un'apertura circolare, per la quale passano i raggi che dirigersi all'oculare. Vicino all'altra estremità del tubo trovasi un secondo specchio concavo N , pure di metallo, un po' più largo del primo e di un raggio di curvatura molto minore. Gli assi dei due specchi coincidono con quello del tubo. Se O è il centro di curvatura del primo, ed $a\ b$ il suo fuoco, i raggi, che come $S\ A$ sono emessi dall'astro, si riflettono su questo specchio e formano in $a\ b$ un'immagine dell'astro rovesciata e piccolissima. Ora la distanza degli specchi e le loro curvature rispettive sono tali, che il luogo di questa immagine trovasi tra il centro o ed il fuoco f dello specchio piccolo, d'onde risulta che i raggi, dopo essersi riflessi una seconda volta sullo specchio N , formano in $a'\ b'$ un'immagine ingrandita e rovesciata di $a\ b$, e per conseguenza diritta, rispetto all'astro. Finalmente si guarda questa immagine con un oculare P a vetro semplice o doppio, il quale ha per oggetto d'ingrandirla di nuovo, e la fa vedere in $a''\ b''$. Siccome gli oggetti che si osservano non sono sempre collocati alla stessa distanza, il fuoco dello specchio più grande e quindi quello del piccolo, può variare di posizione. Inoltre siccome la distanza della visione distinta non è la stessa per tutti gli occhi, si deve poter collocare a differenti distanze la immagine $a''\ b''$. Perciò per mezzo di una grande vite, mobile mediante un bottone esterno, si può allontanare e avvicinare a piacere lo specchio piccolo al grande.

Nel *telescopio di Newton* (Tav. VIII, Fig. 216), invece del piccolo specchio concavo, v'ha uno specchio piano, che riceve il fascio dei raggi provenienti dall'immagine reale, sotto un angolo di 45° , in modo da proiettare quest'immagine lateralmente su di un oculare simile alla precedente.

Il *telescopio di Herschell*, che oggi è molto adoprato, altro non è che una modificazione di quello di Newton. In esso, si è giunti, col presentare lo specchio concavo all'oggetto in una posizione inclinata, a ricevere l'immagine di fianco all'asse e per conseguenza a potersi dispensare dello specchio piano (Tav. VIII, Fig. 217).

Daguerrotipo. Parlando dell'azione chimica della luce solare, si discorse dei *disegni fotogenici*. Si disse che questi possono fissarsi sulla carta e sulle lastre metalliche, ma che nel primo caso non si ottengono che delle prove negative, ossia delle matrici, da cui possono poscia ottenersi delle prove positive, mentre che servendosi di lastre di argento o di rame inargentato si possono ottenere immediatamente delle prove positive. A quest'uopo convien eseguire il metodo dell'ingegnoso Daguerre, e servirsi del suo apparecchio, conosciuto col nome di *daguerrotipo*, il quale non è altro che una camera oscura alquanto modificata e provvista del corredo necessario all'operazione. I disegni che ottengono sono in chiaro-scuro, ma con sì perfetta gradazione di tinte, ed una finezza tale di contorni da doversi veramente ammirare. Ecco in succinto il metodo che bisogna seguire per ottenere le immagini col *daguerrotipo*. Le lamine devono essere di rame ricoperte di uno strato sottilissimo di argento, e la loro grossezza non deve eccedere quella di una carta da giuoco. Il processo si divide in cinque operazioni principali. La prima consiste nel pulire la lamina per renderla capace di ricevere lo strato sensibile all'azione della luce; la seconda nell'applicare questo strato, lo che dicesi preparare la lamina; la terza nel sottoporla in una camera oscura all'azione della luce per ricevere l'immagine di un oggetto naturale; la quarta nel far comparire quest'immagine, la quale non è visibile quando si estrae la lamina dalla camera oscura; finalmente la quinta ha per oggetto di toglier lo strato sensibile alla luce, che continuerebbe

ad esser modificato da essa, per cui si verrebbe a distruggere il disegno ottenuto.

1.^o Si pulisce la lamina coprendola con polvere impalpabile di pomice, e strofinandola poi con cotone imbevuto di olio. Si ripulisce dall'olio con cotone asciutto, e poi si stropiccia leggermente con cotone debolmente inzuppato d'acido nitrico allungato. Si torna a darle uno spolvero di pomice e si strofina leggermente con nuovo cotone. Così ridotta si scalda con una fiaccola a spirito. Giova talvolta ripetere due o tre volte l'acidulazione e lo strofinamento successivo.

2.^o L'applicazione dello strato attaccabile dalla luce si fa assoggettando la lastra ad emanazioni di jodio alla temperatura ordinaria: si pone a quest'effetto su di una scatola, nel cui fondo sono sparse assai uniformemente delle particelle di jodio. La lastra prende prima un color verdastro che passa al giallo pallido, e poi a un giallo dorato più o meno ranciorossastro, che è il colore conveniente. Fa d'uopo non oltrepassare questa tinta, poichè se la lamina prendesse un color violetto non sarebbe più sensibile all'azione della luce. Onde ottenere più rapidamente la formazione delle immagini si è proposto di sostituire alle emanazioni dell'jodio, quelle del cloruro d'jodio, o meglio quelle del bromo. In questo caso le immagini formansi in pochi secondi.

3. Per ottenere l'immagine di un oggetto sulla lastra così preparata, si situa questa nella camera oscura, e si dispone l'apparecchio in faccia all'oggetto, a tal distanza che la sua immagine si formi distintamente su di un vetro spulito posto nel fondo della camera. Alzando una cateratta si scopre la lamina preparata che era stata posta al di dietro di essa per difenderla dalla luce, e si contano con precisione i minuti che bisogna tenerla all'azione luminosa. Bastano ordinariamente dai 5 ai 10 minuti, se fu adoprata la lastra semplicemente jodurata.

4.^o Per fare apparire l'immagine sulla lastra, fa d'uopo esporla ai vapori del mercurio. Perciò scorso il tempo necessario perchè la luce dipinga sulla lamina l'immagine, e abbassata la cateratta della cassetta in cui è posta la lamina a ricever l'impressione della luce entro la camera scura, si

porta la lamina in una cassetta apposita e si espone con un'inclinazione di 45 gradi al vapor di mercurio. La cassetta ha un'apertura chiusa da un vetro, attraverso il quale con un cerino acceso può osservarsi il progresso dell'operazione, la quale dee farsi in una stanza in cui non penetri la luce diurna. Al momento in cui la lamina esce dalla camera oscura, non presenta alcuntr atto visibile; ma sotto l'azione del vapore di mercurio, comincia a poco a poco a comparire il disegno.

Questo effetto sembra che dipenda da ciò, che la luce ha modificato talmente le parti della lamina da essa più o meno colpite che il mercurio penetra più o meno fino all'argento, ove forma delle goccioline microscopiche di amalgama più o meno vicine fra loro, secondo che l'azione della luce ha scoperto più o meno l'argento dallo strato di joduro, il quale è rimasto inalterato là dove la luce non ha colpito. L'osservazione microscopica sembra confermare questo modo di spiegare il fenomeno. La durata della mercurazione dev'essere il tempo necessario per inalzare il mercurio a circa 80°, e per lasciarlo raffreddare fino a 45°, quando si è ritirata la lampada che serve a riscaldare la cassula.

5.° Infine per togliere alla lastra lo strato sensibile all'azione della luce, che rimase in quei punti che non furono colpiti da questo agente, bisogna lavarla prima con una soluzione di sal marino o di iposolfito di soda, e quindi con acqua stillata caldissima. Allora non restano al nudo che il mercurio e l'argento. Il primo forma i chiari e le mezze tinte, l'argento forma le parti scure.

In oggi si sono introdotti varj perfezionamenti al metodo indicato, ma non è del nostro istituto descriverli, essendosi espressamente pubblicati dei manuali di daguerrotipia, per coloro che desiderano familiarizzarsi nell'arte di eseguire dei perfetti disegni fotografici.

Doppia refrazione, polarizzazione e diffrazione.

Oltre le proprietà che abbiamo studiato, la luce ne possiede altre d'una natura affatto particolare, le quali abbenché siano più interessanti sotto il rapporto scientifico che sotto quello

pratico, non possono per altro essere intieramente taciute in un corso di fisica. Perciò ne daremo alcuni cenni (1). Queste proprietà sono la *doppia refrazione*, la *polarizzazione* e la *diffrazione*.

Doppia refrazione. Vi sono certi corpi cristallizzati i quali godono della proprietà di dividere il raggio refratto in due parti ben distinte, una delle quali segue la legge della refrazione ordinaria, ed è il *raggio ordinario*; l'altra, che costituisce il *raggio straordinario*, segue una strada assai diversa. Di questa proprietà godono in generale i corpi cristallizzati, la cui forma non è nè un cubo, nè un ottaedro. *Lo spato d'Islanda* o calce carbonata*romboedrica gode molto distintamente tale proprietà, talchè se attraverso un cristallo di questo corpo si osserva una linea nera, o un corpo qualunque, si veggono raddoppiati. Il raggio straordinario devia dal cammino rettilineo anche quando il raggio incidente è perpendicolare alla faccia del cristallo. L'altro segue la direzione del raggio incidente. Inoltre il raggio straordinario esce sempre dal piano d'incidenza, ed al variare dell'incidenza non presenta la costanza del rapporto fra il seno dell'angolo d'incidenza e il seno dell'angolo di refrazione.

Nei cristalli dotati di doppia refrazione v'ha una linea, la quale dicesi *asse ottico* o *asse di refrazione*, che riunisce i due angoli triedri ottusi, lungo la quale non accade la doppia refrazione, ma bensì la refrazione semplice. Il piano condotto per l'asse ottico perpendicolarmente ad una faccia qualunque del cristallo, dicesi *sezione principale*, e quando un raggio incidente è diretto per questa sezione, il raggio straordinario si mantiene nel piano d'incidenza al pari dell'ordinario.

Polarizzazione. Così chiamasi una disposizione particolare della luce che viene impressa ad un raggio luminoso dalla refrazione o dalla riflessione, quando avvengono in certe particolari circostanze; disposizione che rende il raggio suscettibile

(1) Sarebbe stato nostro desiderio sviluppare sufficientemente nel nostro Trattato, anche questa parte importantissima dell'ottica; ma avremmo con ciò di troppo oltrepassato i limiti stabiliti al presente lavoro e resa l'opera molto voluminosa.

di certe proprietà che conserva dopo che si sono in esso prodotte.

Tutti i cristalli dotati di doppia refrazione polarizzano la luce; così i raggi che escono da un cristallo di carbonato di calce godono di certe proprietà che non possedevano prima di averlo traversato. Se per esempio si presenta sulla loro strada un secondo cristallo dotato di doppia refrazione, e la cui sezione principale sia parallela o perpendicolare a quella del piano, i due raggi non proveranno più la doppia refrazione nel traversare questo secondo cristallo, mentre dei raggi che non avessero traversato il primo cristallo sarebbero nelle stesse circostanze divisi in due. Inoltre, ciascuno dei raggi polarizzati, nel passare attraverso una sottilissima lamina di mica, di vetro e di solfato di calce produrrà un'immagine colorata, il cui colore cangerà a seconda delle circostanze, mentre un raggio ordinario non avrebbe prodotto che una immagine bianca.

Ma non è solo colla refrazione che si può polarizzare la luce; la riflessione può imprimere ad un raggio luminoso la stessa proprietà, purchè avvenga sotto un certo angolo che è costante per una stessa sostanza riflettente, ma variabile da una sostanza all'altra. La sostanza che meglio polarizza la luce per riflessione è il vetro, e l'angolo sotto cui questa polarizzazione accade è quello di 35° , $25'$: per questo genere di esperienze conviene servirsi di lamine di vetro ben levigate ed annerite sulla superficie inferiore, mentre la riflessione si opera sulla superiore. I metalli polarizzano molto meno completamente la luce del vetro, e l'angolo di polarizzazione è più piccolo.

Una raggio polarizzato per riflessione possiede le stesse proprietà di quello che lo è per refrazione: così non si divide in due altri raggi, quando traversa un cristallo dotato di doppia refrazione, e la cui sezione principale è parallela o perpendicolare al piano di riflessione; esso produce una immagine colorita nel traversare una sottil lamina di solfato di calce o di mica.

Una delle più rimarchevoli proprietà di un raggio polarizzato, è la seguente. Se si riceve un raggio polarizzato per ri-

flessione sopra una seconda lamina di vetro, simile a quella da cui è stato riflesso, e si fa cadere su questa seconda lamina sotto l'angolo d'incidenza di 35° , $25'$, che è l'angolo di polarizzazione; questo raggio sarà intieramente riflesso dal secondo specchio di vetro, se i due piani di riflessione sono paralleli: non sarà minimamente riflesso, e tutta la luce sparirà assorbita da questo secondo specchio, se i piani di riflessione sono perpendicolari fra loro. Per mezzo di un apparecchio semplicissimo, composto di due lamine di vetro annestate sulla superficie non riflettente, l'una fissa e l'altra mobile, si può far girare quest'ultima in guisa, da dare ai due piani di riflessione le inclinazioni le più diverse fra loro, conservando però sempre in tutte queste relative posizioni dei due piani, lo stesso angolo di 35° , $25'$ per l'angolo d'incidenza del raggio su ciascuno degli specchi. Per mezzo di questo apparecchio si verifica facilmente la curiosa proprietà dei raggi polarizzati che abbiamo annunziata.

Diffrazione e principio delle interferenze. Quando si fa passare un raggio di sole attraverso un piccolo foro, qual sarebbe quello che otterrebbe si forando con un ago da cucire una sottile lastra metallica, e si riceve ad una piccolissima distanza dal foro lo stesso raggio solare sopra un diaframma trasparente, si vede dipingersi sul medesimo un cerchio bianco luminoso molto più grande di ciò che dovrebbe essere alla distanza in cui si è dal foro, e quel cerchio bianco è circondato di cerchi colorati più o meno numerosi, e più o meno sfumati. Lo stesso fenomeno producesi facendo passare il raggio solare attraverso una sottilissima fessitura: in questo caso invece di cerchi coloriti sono delle linee colorite che trovansi poste da ogni lato dell'immagine bianca della fessitura. Si è chiamata *diffrazione* della luce questa specie di espansione che subisce nel traversare dei piccolissimi orifizi. Grimaldi e Newton, che furono i primi ad osservare questa singolare proprietà della luce, l'attribuirono all'influenza esercitata dai margini dell'orifizio sui raggi luminosi, per cui dessi venivano respinti e decomposti.

Non di meno la seguente esperienza che legasi intimamente alle precedenti, e che in conseguenza deve dipendere dalla

stessa causa, ha fatto considerare i fenomeni della diffrazione sotto un aspetto affatto diverso. Se si pone sulla strada di un raggio solare introdotto in una camera oscura un filo finissimo e molto teso di una sostanza qualunque, e si riceve ad una certa distanza sopra un diaframma l'ombra che proietta, si vedrà quest'ombra molto più grande di ciò che dovrebbe essere, e apparirci al tempo stesso marginata esternamente da strie alternativamente luminose ed oscure, o le luminose saranno colorite. Ma ciò che v'ha di più singolare, e che era sfuggito a Newton e a molti altri osservatori dopo di lui, si è che l'interno stesso dell'ombra del filo presenta pure delle strie luminose e colorite. Quest'ultimo fenomeno rende inammissibile la spiegazione della diffrazione colla influenza esercitata dai margini dei corpi sui raggi luminosi che vi passano a contatto, imperciocchè dovrebbe ammettersi che questa influenza fosse insieme repulsiva ed attrattiva, poichè vi sono delle strie luminose esterne all'ombra e ve ne sono anche delle interne. Altronde numerose esperienze fatte con dei corpi di forma e di natura diversa, mostrando che il fenomeno era indipendente da questa forma e da questa natura, vennero ad aggiungere nuove prove a quelle che già si avevano della falsità della proposta spiegazione.

Le ricerche di varj fisici, e specialmente quelle di Young e di Fresnel, han dimostrato che è solo alla mutua influenza che esercitano gli uni sugli altri i raggi di luce, che sono dovuti i fenomeni della diffrazione. Questa influenza costituisce il principio delle *interferenze*, che può essere enunciato come segue: se due raggi di luce che provengono dalla stessa sorgente e che seguono una direzione non parallola, ma un poco inclinata fra loro, hanno percorso un cammino esattamente della stessa lunghezza, al punto in cui s'incontrano, si agguingono l'uno all'altro, e producono in quel punto una luce doppia; ma se uno dei raggi ha percorso un cammino di una quantità infinitamente piccola più corta dell'altro, questi due raggi invece di aggiungersi l'uno all'altro si distruggon fra loro, come due palle d'avorio che venissero ad incontrarsi si respingerebbero, e il punto d'incontro rimane perfettamente oscuro. Se la differenza delle strade percorse da due

raggi è due volte, quattro volte, sei volte, in una parola un numero *pari* di volte questa stessa minima quantità, i raggi si aggiungono come nel caso in cui le strade percorse sono eguali; se la differenza è di 3, 5, ec., ossia un numero *dispari* di volte questa minima quantità, i raggi si distruggono come quando la differenza non era che di una volta questa minima quantità. La determinazione di questa quantità non si è potuta ottenere che indirettamente, ma con mezzi esattissimi, talchè si è giunti a costatare il suo valore con molta precisione. Questo valore è diverso per ciascuno dei raggi coloriti che compongono la luce bianca. Pel raggio rosso essa è eguale a 310 millionesimi di millimetro; e pel raggio violetto a 212 millionesimi di millimetro: per gli altri raggi semplici è intermedia fra i due valori indicati.

Il principio delle interferenze da noi ora esposto ha permesso di spiegare un numero considerevole di fenomeni che presenta la luce, e particolarmente quelli della diffrazione. Infatti le strie alternativamente oscure e luminose che si osservano nei fenomeni di diffrazione, provengono unicamente dalla mutua influenza che esercitano gli uni sugli altri i raggi diretti che passano presso i bordi dell'ostacolo e i raggi riflessi in tutti i sensi dai medesimi bordi. Si può anche direttamente manifestare questa influenza con un'esperienza di Fresnel. Due specchi metallici sono disposti l'uno presso l'altro facendo fra loro un angolo molto ottuso (*Tav. VIII Fig. 218*). Vi è in *a* una lente di foco cortissimo che concentra in *f* un fascio di raggi. Questo fascio che diverge dal foco *f* incontra i due specchi, e cade in parte sopra uno, in parte sopra l'altro. I raggi riflessi s'incontrano nello spazio nei punti *b*, *s*, *b'*, *s'* ec., ed in questi punti si veggono delle frange alternativamente oscure e luminose, le quali riescono più distinte osservate con una lente o con un canocchiale. L'azione degli orli degli specchi è di certo tolta in questa esperienza, e rimane così indubitato che la sola cagione della produzione delle frange sia l'influenza reciproca dei raggi che s'incontrano sotto una certa inclinazione.

Alla difficoltà di spiegare il principio delle interferenze nella teoria della emissione, è dovuto l'abbandono di questa

teoria e l'accettazione dell'altra delle *ondulazioni* colla quale facilmente si spiega. Si ammette infatti che le piccolissime onde luminose che vengono a riscontrarsi mentre si propagano nella stessa maniera si aggiungano per produrre un effetto doppio, mentre venendosi a riscontrare quando si propagano in modo diverso si distruggano. Colla stessa teoria si spiegano i singolari fenomeni di colorazione che si osservano quando la luce traversa delle sottilissime lamine trasparenti, quali sono per esempio quelle delle bolle di sapone ec. ec. I colori iridati di molti minerali, della madreperla e delle penne di alcuni uccelli si devono a dei fenomeni di simil natura.

Sorgenti della luce.

Fra i corpi celesti non v'ha che il sole e le stelle che sieno luminosi per sè stessi; i pianeti lo sono soltanto per riflessione. La luce che la terra riceve dal sole è molto maggiore di quella che riceve dalle stelle, e ciò probabilmente a motivo della maggior vicinanza del sole.

Ma indipendentemente dalle indicate sorgenti di luce, le quali sono permanenti, ne esistono anche altre soltanto accidentali, alcune delle quali ci sono fornite dalla natura, e non si riesce a riprodurle, ed altre possono essere da noi prodotte a volontà. Queste ultime sono l'elettricità ed un'alta temperatura. Noi abbiamo già sufficientemente parlato della prima; daremo soltanto alcuni dettagli della seconda. Sembra che in generale ogni volta che la temperatura di un corpo oltrepassa i 500° , esso divenga luminoso: perciò tutti i mezzi artificiali propri a svolgere del calore, quando potranno raggiungere od oltrepassare il limite di temperatura indicato, produrranno nello stesso tempo uno svolgimento di luce. Così la confricazione, la percussione e le azioni chimiche sono altrettante sorgenti di luce. Fra le azioni chimiche, la combustione è la sola che s'impieghi a produrre della luce artificiale.

I corpi fissi, cioè a dire quelli che rimangono solidi o liquidi alle temperature che possiamo produrre, non svolgono che poca luce colla loro combustione nell'aria, quand'anche i pro-

dotti della combustione sono volatili. I gas producono ordinariamente molta luce bruciando, allorchè tengono in sospensione delle particelle solide. Tale si è il caso dell'idrogeno carbonato, il quale bruciando è lucentissimo, a motivo delle particelle di carbone che tiene sospese nella sua fiamma e che fortemente riscaldate divengono luminosissime. Il gas idrogeno carbonato è realmente l'unico corpo di cui ci serviamo di continuo per produrre della luce artificiale. Bruciando dell'olio, del sevo, della cera, e delle resine è sempre questo gas che arde. Il gas che serve alla illuminazione delle città e che si raccoglie nei gasometri è lo stesso idrogeno carbonato, il quale preparasi precedentemente colla distillazione del carbon fossile. Una sorgente di luce molto viva è la combustione di un miscuglio dei gas ossigeno e idrogeno; ma lo splendore di tal fiamma addivene immensamente maggiore, allorquando si dirige il getto dei gas infiammati sopra un cilindretto di calce ben disseccata. Questa luce è sì abbagliante che può paragonarsi a quella del sole.

Esiste un certo numero di corpi che emettono della luce in particolari circostanze, senza che questa emissione sia accompagnata dall'alta temperatura che la combustione produce. Tale si è il caso del fosforo, che attesa la sua lenta combustione nell'aria è luminoso nell'oscurità, senza che dia segno al termometro del minimo innalzamento di temperatura. Questa particolar luce dicesi *fosforica*.

Il legno marcio ed i pesci in putrefazione tramandano pure una luce fosforica, la quale sembra parimente dovuta ad una lenta combustione. Certi corpi possono divenire fosforescenti per mezzo del calore, dell'insolazione, della confricazione o della percussione. Il solfato di barite o spato pesante, detto anche fosforo di Bologna, divien luminoso nell'oscurità dopo essere stato riscaldato su dei carboni ardenti. Il così detto fosforo di Canton, che è un miscuglio di gusci d'ostrica calcinati e di zolfo, gode della stessa proprietà, ma ad un maggior grado. Quando queste sostanze hanno perduto la fosforescenza la riacquistano coll'esposizione per un certo tempo ai raggi solari. Anche la scintilla elettrica è capace di far riacquistar loro simile proprietà.

Il diamante, il carbonato ed il solfato di calce divengono fosforescenti nell'oscurità colla semplice insolazione. Lo zucchero in pani risplende nell'oscurità per mezzo della confri-
cazione; alcuni sali, come per es. il solfato di calce, fosfo-
reggiano nel cristallizzare. Infine vi sono anche degli animali
che mentre sono viventi sono capaci di emettere della luce
nell'oscurità. Tali sono per es. certi vermi e degli insetti co-
leotteri del genere *Lampiris*, a cui appartiene la nostra luc-
ciola (*Lampiris Italica*). Varj naturalisti, fra i quali Spallan-
zani e Carradori si occuparono d'indagare l'origine della
luce che questi esseri emettono, e non ha guari il Matteucci
istituì delle accurate indagini su questo soggetto, dalle quali
resulterebbe che la luce delle lucciole dipenda da una lenta
combustione paragonabile a quella che subisce il legno mar-
cio. Vi sono anche dei molluschi microscopici dotati di fosfo-
rescenza, ed è alla presenza di miriadi di questi animalletti
che devesi la luce che si mostra talvolta su dei grandi tratti
della superficie del mare.

Fenomeni Meteorologici dipendenti dalla luce.

Fenomeno del Miraggio. Accade talvolta in certe partico-
lari circostanze dell'atmosfera che osservando degli oggetti in
lontananza, questi danno varie immagini, diritte, oblique o
rovesciate, e più o meno alterate nei loro contorni. L'appa-
rizione di queste immagini senza visibile superficie riflettente
che le produca, costituisce il fenomeno del *Miraggio*. Questo
fenomeno si produce di sovente nelle pianure dell'Egitto. Il
suolo del Basso Egitto forma una vasta pianura sulla quale
si spandono le acque del Nilo nel tempo delle inondazioni.
Sulle rive del fiume ed anche ad una grande distanza verso
i deserti scorgonsi di tratto in tratto delle piccole colline sulle
quali s'inalzano dei villaggi e delle case. Nei tempi ordinarij
l'aria è calma e purissima; al levar del sole gli oggetti lontani
si distinguono con una perfetta nettezza, e l'osservatore può
abbracciare collo sguardo un vasto orizzonte. Quando però il
calor del giorno si fa sentire, quando la terra è scaldata dal
sole, gli strati inferiori dell'aria partecipano dell'alta tempe-

ratura del suolo, numerose correnti si stabiliscono, per cui l'aria va soggetta ad un tremolio ondulatorio sensibilissimo all'occhio, e tutti gli oggetti lontani non danno che immagini mal definite, le quali sembrano rompersi e ricomporsi ad ogni istante. Questo fenomeno che osservasi nei nostri climi nelle giornate più calde d'estate, e che dipende dalla refrazione che i raggi luminosi emananti sugli oggetti subiscono nel loro passaggio attraverso a strati d'aria che ad ogn'istante cambiano di densità, non è anche il fenomeno del miraggio. Se alcun soffio non agita l'aria e se i suoi strati riposanti sulla pianura restano perfettamente immobili mentre si scaldano in contatto della terra, allora il fenomeno del miraggio si produce con tutta la sua magnificenza: l'osservatore che guarda in lontananza prosegue a distinguere l'immagine diretta delle eminenze, dei villaggi e di tutti gli oggetti un poco elevati; ma al di sotto di questi oggetti vede la loro immagine rovesciata, e cessa di vedere il suolo stesso sul quale riposano. Perciò tutti gli oggetti elevati appariscono come se fossero in mezzo ad un immenso lago, e l'aspetto del cielo completa questa illusione, giacchè vedesi come se fosse riflesso sulla superficie di un'acqua tranquilla. A misura che uno si inoltra scuopre sempre nuovo suolo ardente, là dove credeva esistere un'estensione di acque.

Questo fenomeno fu spesso osservato dall'armata francese durante la spedizione di Bonaparte nell'Egitto. Le prime volte i soldati assetati credevano di andare incontro ad un lago, e spinti dal desiderio di dissetarsi, a misura che avanzavano restavano crudelmente delusi. Fu il celebre Monge, il quale faceva parte della spedizione, che scuoprì la causa del fenomeno, e ne diede tosto la spiegazione. È desso, come andiamo a spiegare, un giuoco particolare di refrazione.

Supponiamo che la linea *AB* (*Tav. VIII Fig. 219*) rappresenti la superficie orizzontale del suolo fortemente riscaldato dai raggi del sole. L'esperienza ha dimostrato che in tal circostanza, in conseguenza dello estremo calore del terreno, che riscalda costantemente lo strato d'aria che gli è a contatto, la temperatura dell'atmosfera vicina alla terra va diminuendo a misura che ci inalziamo, e conseguentemente la sua densità va

crescendo nel medesimo verso. Lo stesso accade del suo poter refrangente; il quale partendo da una certa altezza, va continuamente diminuendo a misura che ci avviciniamo al suolo. Noi possiamo, sotto questo rapporto, concepire l'aria vicina alla terra divisa in una serie di strati successivi $C\ C'\ C''$ ec. Ciò posto immaginiamo un oggetto elevato, come per es. un albero, e supponiamo un osservatore situato ad una certa distanza da tale albero, in O . Fra i raggi che il punto P dell'albero manderà in tutte le direzioni, consideriamo il raggio PI che giunga obliquamente sullo strato d'aria C ; essendo questo strato meno denso di quello che lo precede, il raggio nell'entrarvi sarà refratto allontanandosi dalla normale; lo stesso gli avverrà entrando nello strato C' , e nuovamente quando entrerà nello strato C'' . Il raggio PI aumentando così incessantemente di obliquità, in conseguenza di queste successive refrazioni, giungerà un momento in cui non potrà più passare dal mezzo più refrangente in cui trovasi, in quello meno refrangente al quale si presenta; allora sarà costretto a riflettersi, e giungerà all'osservatore seguendo la direzione MO . L'occhio adunque vedrà il punto P nella direzione Ox del raggio riflesso, ed in una posizione presso a poco simmetrica del punto P rapporto al piano sul quale ha luogo la riflessione. Lo stesso deve dirsi degli altri punti dell'albero, per cui infine l'oggetto intiero sarà visto rovesciato e per riflessione, precisamente come se si trovasse circondato dall'acqua. È facile intendere dall'ispezione della figura che allorquando l'osservatore trovasi vicino all'oggetto egli non vedrà che l'immagine diretta, perchè i raggi riflessi non giungeranno più all'occhio.

Nella spiegazione che abbiamo data del fenomeno, la direzione del raggio forma una linea spezzata; ma poichè la densità dell'aria diminuisce a gradi insensibili a misura che ci avviciniamo al suolo, si concepisce che in realtà questa linea spezzata diviene una curva.

Il fenomeno del miraggio può essere in certo modo imitato con un'esperienza di gabinetto. Si empie di carbone acceso una cassa di ferro bislunga, e si sospende all'altezza dell'occhio (*Tav. VIII, Fig. 220*), e coll'occhio posto in p si guarda

un oggetto qualunque posto ad una certa distanza in m . Vedesi allora un'immagine diretta nella direzione $p\ m$ ed un'immagine rovesciata nella direzione $p\ m'$. Questa seconda immagine analoga a quella del miraggio è evidentemente prodotta dalla riflessione della luce sugli strati d'aria calda che avvicinano le pareti della cassa.

Quando l'aria meno densa è in alto e sovrapposta a degli strati più densi prossimi al suolo, come qualche volta accade sul mare, si vedono in aria le immagini rovesciate degli oggetti (*Tav. VIII, Fig. 221*). Qualche volta gli strati di diversa densità sono allo stesso livello e separati da piani verticali, come può accadere sopra un'estensione di suolo rimasta lungo tempo all'ombra accanto ad un'altra estensione di suolo che sia stata lungamente riscaldata dal sole. Allora la refrazione dei raggi fa vedere gli oggetti raddoppiati; le immagini sono situate allo stesso livello degli oggetti e diritte (*Tav. VIII, Fig. 222*). Il fenomeno volgarmente conosciuto in Italia col nome di *Fata Morgana* non è altro che un fenomeno di miraggio. Si osserva di sovente sulle coste della Sicilia, dove il popolo accorre in folla ad osservarlo. Veggonsi in aria a grandissime distanze delle campagne, delle case, delle torri ec., le quali non sono altro che immagini di oggetti situati in lontananza sul suolo ed invisibili all'osservatore. Egli è solo in certe circostanze dell'atmosfera che inviando, dei raggi i quali muovonsi in linee curve in strati d'aria d'inequal densità, possono esser riflettuti a gran distanza e resi visibili.

Arcobaleno. Ognuno ha certamente osservato in quali circostanze l'arcobaleno si produce. È necessario che l'osservatore volga il dorso al sole di poco elevato sull'orizzonte, e che abbia dinanzi a sè una nube che piova, la quale sia vivamente illuminata dai raggi solari. È facile assicurarsi che questa condizione è adempita non solo negli arcobaleni prodotti dalla pioggia delle nubi, ma ben anco in quelli assai meno estesi che forma la pioggia delle cascate o degli zampilli d'acqua. Talora si osservano contemporaneamente due arcobaleni: uno, cioè l'interno, i cui colori sono più vivi, e che ha il rosso in alto ed il violetto in basso: l'altro che ha i colori disposti inversamente. È indubitato che il feno-

meno in discorso è un effetto della decomposizione che la luce solare prova nelle gocce d'acqua. Per concepirlo osserviamo prima quale strada percorre un fascio di luce che incontra una massa sferica di acqua, e a quest'uopo potremo servirci di un globo di vetro pieno di acqua, che situeremo al di sopra di noi, ed in faccia al sole. Sia SI il fascio di luce supposto (*Tav. VIII, Fig. 223*). Alla sua incidenza in I , una porzione penetrerà nella goccia, e si refrangerà nel modo ordinario. In I' si farà una nuova separazione; una porzione uscirà, ed un'altra si rifletterà e andrà a colpire la goccia in I'' e così di seguito. La luce refratta in I' può incontrare l'occhio dell'osservatore posto in O .

Dicesi *deviazione* l'angolo che la direzione d'incidenza di un raggio che subisce una riflessione interna in b , fa colla direzione di emergenza. Così, nella figura 223, l'angolo St è la deviazione del raggio incidente SI . Il fascio emergente in I' prova una dispersione perfettamente eguale a quella che subisce all'uscire dal prisma; i due raggi estremi sono indicati da $I''R$ ed $I''V$. L'occhio riceverà nel piano che abbiamo considerato un miscuglio di raggi, dimodochè la sensazione sarà confusa, ed inoltre l'impressione sarà debole a motivo della dilatazione del fascio e della perdita subita dalla luce nel suo passaggio attraverso la goccia. È dunque necessario affinché l'occhio abbia una viva sensazione dei varj colori, che ciascuno di essi offra un fascio di raggi non divergenti ma paralleli alla loro emergenza, ossia un fascio di quei raggi che son chiamati *efficaci*.

Sia coll'esperienza, sia col calcolo può determinarsi sotto quali condizioni i raggi efficaci si producono. Se si fanno cadere un certo numero di raggi di luce sopra una massa sferica d'acqua (*Tav. VIII, Fig. 223*), e si cerca l'angolo di deviazione che fa il raggio incidente col raggio veduto dall'osservatore, si osserva che è nullo sotto l'incidenza perpendicolare, e che poscia aumenta fino ad un certo limite d'incidenza eguale a circa $59^{\circ}, 30'$ pei raggi rossi. Questa deviazione massima è di $42^{\circ}, 1', 40''$ per una sola riflessione interna. Per i raggi violetti l'incidenza è di $58^{\circ}, 40', 0''$, e la deviazione è di $40^{\circ}, 17'$. Per due riflessioni interne l'incidenza è di $71^{\circ}, 49', 55''$, e la devia-

zione di 50° , $58'$, $50''$ pei raggi rossi, e pei violetti l'incidenza è di 71° e la deviazione è di 54° , $9'$. Le incidenze e le deviazioni dei raggi intermedj sono comprese fra questi limiti. Dei raggi poco lontani e paralleli, che cadono sotto quelle incidenze sulla goccia, ne usciranno conservandosi paralleli, benchè la deviazione generale del fascio sia di varj gradi. S'intende adunque come l'occhio posto ad una grande distanza dalla goccia non sia affetto che da questi raggi, poichè dessi, stante il loro parallelismo, conservano la loro intensità, mentre gli altri si sono indeboliti colla dilatazione.

Supponiamo adesso nell'aria un gran numero di gocce o globuli di acqua che rapidamente si succedano nella loro caduta: accadrà precisamente come se ciascuno di essi fosse immobile. Consideriamo prima soltanto i raggi inviati dal centro del sole, che noi possiamo senza errore apprezzabile considerare come paralleli. Sia O (*Tav. VIII, Fig. 223*) la posizione dell'occhio; se noi conduciamo la linea OC parallela ai raggi solari, e la retta OV che faccia con OC un angolo di 40° , $17'$, è evidente che le gocce di acqua che si troveranno in questa direzione manderanno all'occhio dei raggi efficaci violetti, dopo una sola riflessione interna. Conducendo parimente le linee OR , OV' , OR' in guisa che ROC sia di 42° , $2'$, $R'OC$ di 50° , $59'$, $VO C$ di 40° , $17'$, e $V'OC$ di 54° , $9'$, l'occhio riceverà nella direzione di OR dei raggi efficaci rossi dopo una sola riflessione interna, nelle direzioni OR' , OV' , dei raggi rossi e violetti dopo due riflessioni interne, e nelle direzioni comprese tra VO , ed RO , $V'O$ e $R'O$ i raggi efficaci dei colori intermedj. Perciò se non vi fosse che una serie verticale di gocce d'acqua, l'occhio scorgerebbe due spettri sottilissimi, le cui tinte si succederebbero in senso contrario, e di cui il più alto avrebbe una minore intensità, a motivo della doppia riflessione interna proveniente dai raggi che lo hanno formato. Ma se lo spazio occupato dalle gocce ha un'estensione sufficiente, allora gli spettri saranno assai lunghi ed avranno la forma di strie circolari. Infatti se supponiamo di far girare intorno alla linea OC , le linee OV , OR , OR' , OO' , facendo sempre colla medesima lo stesso angolo, esse descriveranno tante superficie coniche, e sulle circonferenze delle

basi di questi coni si troveranno un numero grandissimo di gocce di acqua. Perciò quelle gocce che si troveranno sulla circonferenza della base della superficie conica descritta dalla linea OV produrranno una stria circolare violetta; quelle che si troveranno sulla base della superficie conica descritta dalla linea OR una stria circolare rossa, e così di seguito.

In ciò che precede abbiamo supposto che il sole non fosse che un punto; ma non è realmente così; ogni punto del suo disco invia dei raggi, e conseguentemente lo spettro dell'arcobaleno non è formato di strie ma di fasce della larghezza del diametro apparente del sole. Nel mezzo dell'arco queste fasce si sovrappongono in parte, ond'è che i colori dell'arcobaleno sono quivi assai meno distinti che sui margini.

La parte visibile dell'arcobaleno non è sempre la stessa. Quando il sole è all'orizzonte, l'arco appare sotto la forma di un semicerchio; a misura che il sole s'inalza, l'asse della visione che è al tempo stesso quello dei raggi efficaci, si abbassa in guisa che l'arco diminuisce; infine l'arco interno sparisce, quando il sole è a 42° sopra l'orizzonte, l'arco esterno non cessa di esser visibile se non quando l'altezza del sole è a 54° . È anche facile intendere che un osservatore situato sopra un'eminenza quando il sole è all'orizzonte, può scorgere un intero cerchio.

Oltre il maraggio e l'arcobaleno si osservano altre meteore luminose, che sono state distinte coi nomi di *aloni*, di *corone* e di *parelj*.

Gli aloni e le corone sono dei cerchi colorati che appajono intorno al sole in certe stagioni dell'anno. Il loro margine interno è ordinariamente ben distinto, mentre l'esterno è più incerto e meno colorito. Non differiscono che nella disposizione dei colori. Il *parelio* consiste in un cerchio bianco orizzontale che passa pel sole, formando una striscia assai vivamente illuminata, la cui altezza è uguale al diametro del sole. Talvolta accompagna gli aloni, penetra nel loro interno e li divide in due parti eguali. Talora si osserva anche una striscia bianca che taglia verticalmente gli aloni formando così col cerchio *parelico* una croce più o meno distinta nell'interno dello alone e il cui centro è occupato dal sole. Quando il fenomeno

è completo si osservano infine un poco al di fuori dell'alone e sulle braccia della croce delle immagini del sole molto vive e colorate, e se ne scorge una che chiamasi *antelio* o falso sole, perchè trovasi sul cerchio parelico diametralmente opposto al sole.

Si ammette generalmente che tutti questi fenomeni dipendano da ginocchi di refrazione e di riflessione della luce solare che si producano nell'alto dell'atmosfera su degli ammassi di piccoli cristalli di ghiaccio ivi formatisi in qualche particolar circostanza. Difatti tali meteore produconsi ordinariamente d'inverno e specialmente nei paesi settentrionali allorchando l'atmosfera è carica di vapori, e Brewster ha osservato dei cerchi colorati aventi tutte le proprietà degli aloni guardando il sole o un lume attraverso una lastra di vetro sulla quale aveva fatto cristallizzare un sottile strato di soluzione di allume. Del resto non è anche stata data una completa spiegazione di questi fenomeni in tutti i loro dettagli.

Debbonsi annoverare fra le meteore luminose anche le così dette *stelle cadenti* ed i *bolidi*.

Chiamansi stelle cadenti o filanti certi punti luminosi che muovonsi rapidamente nell'atmosfera e che hanno l'apparenza di stelle che si staccino dal firmamento, lasciando dietro di sè una traccia luminosa. Secondo molti osservatori sembra che sieno in generale al di là dei limiti della nostra atmosfera, e che la loro distanza da noi giunga spesso fino a più di duecento leghe. Si muovono con estrema velocità la quale giunge talvolta fino a 22 leghe per secondo, e il loro movimento è ordinariamente opposto a quello di traslazione della terra nella sua orbita.

V'ha poche volte che un osservatore prendendo a contemplare soltanto un quarto di cielo, non ne scorga almeno sei ad otto ogni ora: in certe epoche dell'anno poi, e specialmente dall'11 al 13 di Novembre e dal 10 al 12 d'Agosto, il numero delle stelle cadenti è molto più considerevole; ed allora hanno una direzione determinata. Il Brandes in una notte del 6 al 7 di Dicembre giunse a contarne 480. Si è supposto che le stelle cadenti sieno dei piccoli corpi celesti dispersi in maggiore abbondanza in certe regioni del cielo, e che divengono a noi

visibili quando la terra pel suo movimento di rotazione intorno al sole si avvicina alle regioni in cui sembrano concentrarsi le orbite di questa sorta di corpi.

I bolidi sono globi luminosi della grandezza della luna piena, che solcano l'atmosfera lasciando dietro di sé una traccia luminosa a guisa di razzi. Spariscono lanciando scintille e producendo un rumor cupo simile al rimbombo di una cannonata. Sono accompagnati da caduta di pietre, che i naturalisti distinguono col nome di *areoliti* o *meteoroliti*, le quali sono composte di silice, ferro, magnesia, nichelio e calce, e sono ricoperte da uno strato di apparenza vetrosa.

Secondo alcuni naturalisti gli areoliti sarebbero pietre lanciate dai vulcani della luna, le quali giunte nella sfera d'attrazione della terra verrebbero attratte dalla medesima e s'infiammerebbero traversando l'atmosfera. Secondo altri sarebbero frammenti di pianeti descriventi orbite che incontrano quella della terra, e che nell'incontro verrebbero a precipitarsi su questa infiammandosi nel traversare l'atmosfera.

Aurora boreale. Si chiama *aurora boreale* un magnifico fenomeno luminoso che appare di frequente nell'atmosfera verso il polo boreale della terra. Poco dopo il tramonto del sole, si annunzia questo fenomeno con una specie di nube cenerognola fornita di un chiarore confuso e simile a quello dell'aurora, la quale serve di base alla meteora. Dopo un certo tempo questa nube vien circondata da un arco splendente di luce bianca o rossa da cui ad intervalli irrompono dei raggi luminosi, che si spandono in tutte le direzioni e si disperdono ad una notevole distanza, comparando talvolta lo splendore fino allo zenit dell'osservatore. Nella Lapponia ed in tutti i paesi vicini al polo artico il fenomeno è molto frequente e brillante. Si spiega sull'orizzonte, in modo molto imponente coll'apparenza di una grande conflagrazione anche in paesi meno settentrionali, come ha osservato Herschel a Londra. Nei nostri paesi apparisce assai di rado, ed è piuttosto languida. Al polo antartico si gode pure lo spettacolo di un somigliante fenomeno, cosicchè piuttosto che *aurora boreale*, dovrebbe dirsi *aurora polare*; ma i viaggiatori assicurano che verso il polo sud non è così maestosa come verso quello settentrionale. Il fenomeno

dell'aurora boreale ha un origine elettro-magnetica. Fino dai tempi di Beccaria, i fisici erano stati colpiti dalla grande somiglianza di questo fenomeno luminoso, con quello della luce elettrica nel vuoto. Fu quindi osservato che gli archi luminosi concentrici dell'aurora boreale, riposano tutti su due parti dell'orizzonte equidistanti dal meridiano magnetico, ed i loro punti più elevati si trovano esattamente in questo medesimo meridiano. Infine la vera natura di questo fenomeno ci è meglio dimostrata dall'azione che esso spiega sull'andamento dell'ago magnetico, anche in luoghi lontanissimi da quelli in cui si scorge il fenomeno. L'inclinazione e la declinazione dell'ago magnetico vanno soggette a delle perturbazioni più o meno grandi, un poco avanti e durante l'aurora boreale. De-La-Rive crede che consista in un'eruzione d'elettrico, che dai poli si porti verso le alte regioni dell'atmosfera.

ACUSTICA.

Acustica, ossia del fenomeno del suono. Quella parte della fisica che ha per oggetto lo studio della produzione e delle proprietà del suono dicesi *Acustica*. Noi prenderemo a considerare il fenomeno del suono nei seguenti diversi rapporti: 1.º nel corpo sonoro che lo produce; 2.º nei corpi intermedi o nei mezzi che lo trasmettono; 3.º nell'organo che ne procura la sensazione.

1.º *Del suono considerato nel corpo sonoro.*

Produzione del suono. Il suono è prodotto dalla vibrazione dei corpi elastici. Se noi allontaniamo con un dito dalla loro posizione di equilibrio un filo metallico o una corda di budello perfettamente tesi, ovvero se vi passiamo sopra trasversalmente un arco da violino, sentiremo immediatamente un suono, e

nello stesso tempo vedremo la corda in una rapida vibrazione, che potremo a piacere far cessare stringendo fra le dita la corda. Se questa fosse stata poco tesa, la sua vibrazione si sarebbe fatta in un modo più lento, e tale da poter contare coll'occhio le oscillazioni; ma in questo caso la vibrazione non avrebbe prodotto suono. Aumentando progressivamente la tensione della corda, si giunge ad un punto in cui la velocità delle vibrazioni è capace di dare origine ad un suono. Questo primo suono che dà la corda mentre è sempre poco tesa, dicesi *suono grave*. A mano a mano che la tensione cresce, il suono diviene sempre più *acuto*.

Esperimentando su corde di sostanze diverse, come su fili di lino, di argento, di piombo ec., si osserva che la facilità a produrre un suono dipende sempre dalla diversa forza elastica delle sostanze che le compongono, e dalla diversa rapidità del loro movimento vibratorio.

Anche le lastre sono suscettibili di dare dei suoni allorchando vengon poste in vibrazione. Ciò può dimostrarsi perfettamente con una lastra di acciaio fissa con una sua estremità in una morsa. Se la parte vibrante della lastra è troppo lunga le oscillazioni sono molto lente e non producono alcun suono distinto; ma a misura che si scorcia, le vibrazioni si fanno sempre più rapide ed il suono sempre più acuto. Deve ripetersi per le lastre ciò che abbiamo detto delle corde, cioè a dire che quanto più elastica è la materia che le costituisce, tanto più facilmente producesi il suono. Basta citare dei fatti notissimi per dimostrarlo. Le pareti delle campane sono lastre metalliche di una certa grossezza, le quali son poste in vibrazione dagli urti del battaglio, ed è facile accorgersi dal tremito che si sente accostando ad esse una mano mentre suonano, che la loro vibrazione è la causa del suono che producono. Ora, a tutti è noto che una campana di bronzo produce un suono molto più distinto di una campana di piombo, e questa ne produce uno più distinto di una campana di legno o di argilla; e siffatte differenze da altro non dipendono che dalla diversa elasticità delle materie poste in vibrazione. Rimarchevolissimi sono i movimenti vibratorj che manifestansi sulle lastre o sui dischi di sostanze dure, come il vetro, il rame ec. Per osser-

varli basta fissare questi corpi per mezzo di morse su dei piani fissi, ricuoprirli cou della sabbia fine, e farli risuonare strisciando un arco da violino sul loro margine. Tosto vedesi la sabbia saltellare, e dopo pochi colpi d'archetto disporsi sulla superficie della lastra, in modo da dare origine a delle figure regolari e simmetriche. Variando la forma delle lastre, ed i punti di applicazione dell'archetto, si osserva un cambiamento corrispondente nelle figure prodotte dall'agitazione della sabbia. Trovasi questa costantemente scacciata dalle parti della lastra in cui le vibrazioni sono forti, e va ad accumularsi in quelle in cui le vibrazioni sono quasi nulle, o almeno debolissime. Queste ultime parti sonq state distinte col nome di *nodi* o *linee nodali*, mentre quelle in cui le vibrazioni sono forti hanno ricevuto il nome di *ventri*. Le linee nodali ed i ventri trovansi anche in una corda che si fa vibrare. Si può dimostrare ponendo a cavalcioni di una corda dei piccoli archetti di carta; tosto che si fa vibrare si vedono cadere tutti quelli che sono situati nei ventri, mentre quelli posti sui nodi non si muovono punto.

L'aria che è di tutti i corpi il più elastico, deve necessariamente possedere anche più degli altri le proprietà sonore; e che l'aria sia eminentemente sonora ci è provato dagl'istrumenti a fiato, nei quali il suono è il risultato delle vibrazioni prodotte nell'aria, in conseguenza del movimento comunicatole.

Rumori e suoni continui. — I rumori sono il risultato di un urto istantaneo comunicato all'aria, il quale produce una sensazione breve e confusa. Tale si è il caso dell'esplosione di un'arme a fuoco, dello schioppettare di una frusta, dell'urto di due pietre ec. Dicesi anche rumore una mescolanza confusa di parecchi suoni discordanti, come il rumor del tuono, lo strepito di una vettura sul lastrico ec.

Il suono continuo o suono musicale consiste invece in una serie di vibrazioni che vengono a colpire successivamente, con regolarità e rapidità l'orecchio, e producono una sensazione continua, di una certa durata, la quale può paragonarsi al suono di un qualche strumento di musica. Per la produ-

zione di un suono musicale esigesi adunque un movimento vibratorio rapido regolare e prolungato per un certo tempo.

Anche con una serie di rumori che si succedono rapidamente e ad intervalli eguali di tempo può ottenersi un suono musicale. Ciò può dimostrarsi per mezzo della ruota di Savart, la quale consiste in una ruota dentata mobile intorno ad un asse perpendicolare al suo piano e che passa pel suo centro, la quale nel suo movimento percuote i suoi denti contro un corpo flessibile, qual sarebbe una carta da visita, fisso dinanzi alla sua periferia. Se si fa girare la ruota con molta lentezza, si sentono distintamente i colpi successivi dei denti contro la carta, ma se si accresce la velocità del movimento rotatorio, s'ode tosto un suono continuo, di cui l'acutezza cresce colla velocità di rotazione.

Gravèzza ed acutezza dei suoni. Abbiamo accennato che la differenza fra la gravèzza e l'acutezza dei suoni dipende dal numero delle vibrazioni che il corpo sonoro eseguisce in un dato tempo. Più è grande questo numero, e più il suono prodotto è acuto; più è scarso, e più il suono è grave. Del resto queste denominazioni di suoni o *tuoni* gravi ed acuti non sono che relative; difatti non è possibile determinare fin dove si estendono nell'inalzarsi i suoni gravi, e dove cominciano i suoni che debbonsi chiamare *acuti*. Accade sempre che un suono che si riguarda come acuto paragonato ad un suono assai basso, diverrà grave, paragonato ad un suono molto più acuto. I musici a cui è necessario un tuono fisso, sono abituati di prendere per tuono medio fra i gravi e gli acuti, quello che ottengono da un istrumento chiamato *corista*. Consiste questo in una specie di forchetta di acciaio a due rami poco discosti fra loro (Tav. VIII, Fig. 226), fra i quali si fa rapidamente passare una verga dello stesso metallo, che li allontana e li pone in vibrazione. Il suono di questo istrumento è poco intenso quando si tiene il suo piede colla mano; ma se si posa sopra una tavola o sopra una cassa sonora, acquista molta forza. Il tuono che produce il corista è presso a poco costantemente identico, ed è per questo che i musici si servono di questo istrumento per accordare gli istrumenti a suoni fissi, come per esempio il piano-forte.

Quando si tratti d'istrumenti a corda, il numero delle vibrazioni che produce una corda in un tempo dato, aumenta colla sua tensione e diminuisce coll'aumentare della sua lunghezza e del suo diametro. Dunque quanto più tesa è la corda tanto più acuto sarà il suono, mentre quanto più sarà lenta e quanto più considerevoli saranno la sua lunghezza e la sua grossezza, tanto più grave sarà il suono che produrrà. Ecco l'enunciato esatto dei risultati ai quali si giunge col calcolo, e che esprimono le leggi delle vibrazioni delle corde.

1.^o *I numeri delle vibrazioni di una corda sono in ragione inversa della sua lunghezza*, cioè a dire che se una corda sonora fa in un certo tempo un numero di vibrazioni rappresentato da uno, quando vibra in tutta la sua lunghezza, essa farà nello stesso tempo un numero di vibrazioni espresso da 2, 3, 4 ec. se per mezzo di un ponticello mobile, non si fa vibrare che la metà, il terzo, il quarto ec. della sua lunghezza.

2.^o *I numeri delle vibrazioni di una corda sono in ragione inversa della sua grossezza o diametro*; cioè a dire che se si hanno due corde della stessa materia, una delle quali abbia un diametro doppio dell'altra, la più sottile farà nello stesso tempo un numero doppio di vibrazioni dell'altra.

3.^o *I numeri delle vibrazioni di una corda sono proporzionali alle radici quadrate dei pesi che la distendono*; cioè a dire che se si rappresenta con 1 il numero delle vibrazioni di una corda distesa dal peso 1, questo numero di vibrazioni diverrà nello stesso tempo 2, 3, 4 ec. se si distende la corda con dei pesi rappresentati da 4, 9, 16 ec.

Le indicate leggi trovate per mezzo del calcolo, possono anche verificarsi sperimentalmente. Per giungere a questa verificaione è stato necessario trovare un metodo sperimentale per mezzo del quale determinare il numero assoluto delle vibrazioni che corrispondono a un dato suono. Il migliore di questi metodi è quello che ci è offerto da un istrumento ingegnoso inventato da Cagnard Latour e distinto col nome di *sirena*. Consiste in un tamburo metallico *B A C, D*, (Tav. VIII, Fig. 228) nella parte inferiore del quale può fissarsi un tubo *C D* destinato a soffiare una corrente d'aria nel tamburo. La superficie superiore del tamburo è fornita di uno o più piccoli

orifizj eguali, equidistanti, e disposti sulla circonferenza di un circolo concentrico a quello che limita la superficie del tamburo. Riposa nel suo centro l'estremità inferiore di un asse verticale di acciaio, di cui l'estremità superiore è ricevuta in una cavità praticata nella traversa orizzontale *E F*. Quest'asse, che dev'essere di una mobilità estrema, porta nella sua parte inferiore e fissa nel suo centro una lastra metallica circolare *G H* che ruota coll'asse, e che è fissa ad una distanza estremamente piccola dalla superficie superiore del tamburo. Questo cerchio *G H* è pure forato da un gran numero di orifizj eguali equidistanti e diretti obliquamente nella grossezza della lastra. L'asse di acciaio che porta il circolo *G H* è munito nella sua parte superiore di una vite senza fine, che per mezzo di rocchetti e di ruote dentate comunica il movimento agli aghi dei due quadranti *X* ed *Y*, i gradi dei quali segnano pel primo i giri dell'asse, e pel secondo le centinaia di giri. V'ha un meccanismo che serve a fare ingranare a volontà la vite nella ruota e nel rocchetto. Supponiamo che si metta il cilindro *C D* in comunicazione con una cassa entro cui l'aria sia spinta da un mantice, l'aria uscirà dagli orifizj del tamburo e da quelli del disco mobile, quando si troveranno nella posizione in cui i loro orifizj coincidono. Ma poichè quelli del disco sono obliqui, la corrente d'aria obbligherà il disco a ruotare, e sarà tanto maggiore la rapidità del suo moto quanto più sarà grande la velocità della corrente. Per questa rotazione sarà regolarmente troncata la corrente d'aria che esce dagli orifizj del tamburo, e le intermittenze nello scolo dell'aria saranno le stesse per tutti gli orifizj: l'aria propagherà queste pulsazioni come propaga le vibrazioni di un corpo solido, e l'acutezza del suono che ne resulta dipenderà dalla rapidità con cui si succederanno queste intermittenze, ossia dalla rapidità di rotazione. S'immagini per un momento un sol foro sulla faccia del tamburo, e 10 nel disco mobile: è chiaro che nel tempo che questo farà una rivoluzione il foro del tamburo sarà 10 volte aperto e 10 volte chiuso; 10 volte l'aria uscirà e 10 volte sarà impedito il suo sgorgo. Quest'effetto si produrrà in 1" o in $\frac{1}{10}$ o in $\frac{1}{100}$ di secondo, a seconda che il disco farà 1, 10, o 100 giri in un secondo, e siccome l'aria che è

spinta con violenza e bruscamente arrestata produce ad ogni alternativa una vibrazione, ne viene che si avranno 10, 100, o 1000 vibrazioni per secondo. Il numero dei fori della faccia superiore del tamburo *B A C D* non serve che a variare l'intensità del suono, imperocchè tutti questi fori produrranno simultaneamente lo stesso effetto. Perciò supponendo che i medesimi sieno in numero di dieci, come nel disco mobile, il suono sarà dieci volte più intenso; ma il numero delle vibrazioni non ne verrà aumentato.

Ecco come con quest'apparecchio si determina il numero delle vibrazioni corrispondenti a un dato suono. Si comincia da regolare la corrente dell'aria; allora si fanno camminare i due indici che danno il numero delle oscillazioni, e nello stesso tempo si conta con un cronometro in mano un certo numero di secondi. Dopo un certo numero di questi, per es. dopo 20, si arresta il movimento, e si sa il numero *N* delle centinaia di giri che hanno avuto luogo e quello *n* dei giri minore di 100. Supponendo che il piatto superiore del tamburo abbia 10 fori è chiaro che il numero dei colpi dati all'aria in un secondo sarà espresso da
$$\frac{10 (100 N + n)}{20}$$

Suono degl' istrumenti a vento. Abbiamo già accennato che l'aria è il corpo sonoro per eccellenza. Qualunque colpo un po' forte dato all'aria produce un rumore, come lo scoppiettare di una frusta e l'esplosione di un'arma a fuoco. Se i colpi dati all'aria si ripetessero periodicamente e con sufficiente rapidità, se ne avrebbe un suono distinto. È questa l'origine del suono più o meno grave che si ha introducendo una fiammella di gas idrogeno entro un tubo di vetro o di metallo. L'idrogeno nel bruciare nell'aria forma del vapore acquoso, che rapidamente si condensa sulle pareti del tubo, e produce così ad ogn'istante delle rarefazioni che sono pure ad ogn'istante riempite dall'aria che vi si precipita con violenza. Questi successivi movimenti producono il suono descritto, il quale è più o meno grave, secondo le dimensioni della fiamma e del tubo. È specialmente nel suo rapido passaggio attraverso un foro che l'aria si pone a vibrare e produce un suono distinto e valutabile. È in questa guisa che si produce

il fischio che odesi al rientrar dell'aria nella macchina pneumatica. Il suono poi acquista molto maggiore acutezza se l'aria nel penetrare da un orifizio viene a frangersi con forza contro i lembi del medesimo. È in questa guisa che si giunge a trarre dei suoni acutissimi dalla zampogna, ed anco da una chiave, soffiandovi opportunamente dell'aria mediante la bocca. A misura che la corrente è più rapida o che il foro si fa più stretto, l'acutezza del suono aumenta. Se poi la corrente d'aria nel passare attraverso un foro costringe una lamina elastica o un corpo membraniforme a mettersi in vibrazione, il suono è molto rinforzato. Nelle canne da organo il movimento vibratorio della massa d'aria che v'è contenuta è prodotto da una corrente d'aria fornita da un serbatoio, in cui ha una forza elastica superiore a quella dell'atmosfera. Per far vibrare la massa d'aria contenuta nel tubo basta che la corrente dell'aria nel penetrare nel medesimo incontri un orifizio tagliato a sbieco, o come suol dirsi disposto a *imboccatura di flauto*, e così rompendosi contro quello spigolo acuto entra in vibrazione e comunica il suo movimento oscillatorio alla colonna d'aria contenuta nel tubo. La figura 226 rappresenta l'imboccatura di un tubo d'organo; la figura 227 rappresenta quella dello züfolo. In ambedue l'apertura si chiama la *luce*, e per essa s'introduce l'aria nel tubo; *b o* è la *bocca*, il cui *labbro* superiore *b* è tagliato a sbieco. Nella parte superiore delle due figure è rappresentato il tubo, il quale può essere aperto o chiuso. Nella Figura 227 il *piede P* serve a fermare il tubo sopra un mantice.

I corni, le trombe, i flauti sono tutti veri tubi con imboccatura di flauto, e suonano come le canne da organo. Si ripiegano in mille maniere per poter senza incomodo tener lunga la colonna sonora. L'aria che vien spinta dai polmoni forma la corrente; le labbra regolano la sua velocità e cambiano le dimensioni della bocca dell'istrumento, onde ottenere dallo stesso tubo tutta la serie dei suoni che può dare.

Il suono grave od acuto di un istrumento a vento dipende dalla sua lunghezza, dal suo diametro, e dalla forza del soffio che s'impiega per farlo vibrare. Sotto questo rapporto si può assomigliare un istrumento a vento, ad un istrumento a corda.

La lunghezza della colonna d'aria e la sua grossezza corrispondono alla lunghezza ed alla grossezza della corda, e la forza del soffio che eccita le vibrazioni nell'istrumento a vento, corrisponde al grado di tensione della corda. Perciò negl'istrumenti a fiato si rende il tuono più grave o più acuto, sia cambiando la forza del soffio, sia allungando o raccorciando direttamente la canna dell'istrumento, come nel trombone, ovvero producendo lo stesso effetto per mezzo di fori laterali, come ciò accade nel flauto e nel clarinetto, o in fine modificando l'apertura della canna colla mano, come nel corno.

Bernouilli, al quale si deve la teoria delle vibrazioni dell'aria nei tubi, dimostrò che queste si operano differentemente secondo che i tubi sono aperti o chiusi all'estremità opposta alla loro imboccatura. Quando i tubi sono chiusi, e che la loro lunghezza supera 12 o 15 volte il loro diametro, essi danno dei suoni di mano in mano più elevati, a misura che il soffio si rinforza. Durante la vibrazione dell'aria nel tubo, la sua colonna si divide a guisa di una corda in varie parti vibranti distintamente, e separate fra loro da nodi. In ogni caso però v'ha sempre un nodo al fondo del tubo ed un ventre di vibrazione alla sua bocca. Quando v'ha un nodo solo, il tubo dà il suono fondamentale, e la lunghezza della colonna d'aria vibrante è doppia di quella del tubo. Se produconsi due nodi, uno di essi trovasi al fondo del tubo e l'altro ad un terzo, partendo dall'estremità aperta; e quindi la distanza tra due nodi, è $\frac{1}{3}$ della lunghezza del tubo.

Nei tubi aperti, la serie dei suoni prodotti è diversa. Il suono fondamentale di un tubo aperto ai due capi è sempre più acuto del fondamentale che darebbe lo stesso tubo chiuso ad un estremo. Quando un tubo aperto ai due capi dà un suono, si forma un ventre di vibrazione a ciascuna delle due estremità, e nella sua lunghezza si producono uno o più nodi. Se v'è un nodo solo, esso trovasi al mezzo; se ve ne sono due essi trovansi ad un quarto, partendo da ciascuna estremità.

L'esistenza dei nodi si conosce nei tubi aperti o chiusi, perforando le loro pareti nei punti corrispondenti ai medesimi. Allora si osserva che lasciando aperti i fori il suono non è alterato, mentre lo alterano le aperture che fossero fatte

sopra o sotto ai nodi. Può anche dimostrarsi facendo risuonare un tubo rettangolare a pareti sottili disposto orizzontalmente. Allora le pareti entrano in vibrazione insieme alla colonna d'aria interna, e coprendole con sabbia si vede che questa abbandona i luoghi dove sono i ventri e recasi verso i nodi.

Istrumenti a linguetta o ancia. Negl'istrumenti a fiato, detti a linguetta o ancia, i tubi servono più che a produrre a rinforzare il suono. Il vero strumento sonoro è in questi apparecchi una lingua metallica fissa ad una estremità, applicata sugli orli di un orifizio fatto sullà parete di un tubo. Le armoniche a bocca consistono in tante linguette applicate ad altrettanti fori fatti in una piccola scatola, entro cui si soffia l'aria colla bocca. Ecco come si produce il suono negl'istrumenti a linguetta. Allorchè si soffia nei medesimi, la linguetta è spinta fuori dall'apertura su cui posa, e si allontana da questa fino a tanto che la sua elasticità, che cresce proporzionalmente alla sua flessione, faccia equilibrio alla forza della corrente. Intanto la pressione della corrente va diminuendo, essendosi allargato l'orifizio: la forza elastica diviene perciò capace di ricondurre la linguetta al suo posto. Allora è di nuovo respinta, e così di seguito. Nascono in tal modo dei colpi che si ripetono sull'aria e la fanno vibrare. Il suono della linguetta è molto modificato allorchè questa è aggiustata sopra un tubo. In questo caso l'aria, invece di uscire liberamente, è obbligata a percorrere il tubo, e l'istrumento è composto di due parti che vibrano con leggi diverse. Il suono che se ne ha non è più quello solo che darebbe la linguetta libera nè quello solo che darebbe il tubo separatamente. L'unione del tubo all'ancia rende più grave il suono prodotto da quest'ultima. Oltre le armoniche comuni sono anche istrumenti ad ancia il clarinetto ed il fagotto.

Organo della voce. Un istrumento a fiato che merita specialmente la considerazione del fisico e del naturalista, è l'organo della voce. Ognun sa che è l'aria spinta fuori dai nostri polmoni, che produce i suoni che emettiamo. Il vero organo vocale è la *laringe*, nella quale l'aria che esce dai polmoni è portata per mezzo di un canale distinto col nome di *trachea*.

La laringe comunica colla bocca posteriore per mezzo di una fenditura oblunga detta *glottide*, che si apre dietro la base della lingua. Tale apertura è compresa fra due pieghe muscolo-membranose che ne formano i labbri, e che possono essere più o meno tese o avvicinate l'una all'altra. Lo spazio compreso fra queste pieghe forma una piccola cavità rappresentata in *A B* nella figura 229, e distinta col nome di *ventricolo della laringe*. La più o meno grande contrazione dei ligamenti della glottide ingrandisce o diminuisce l'estensione di quest'apertura, e modifica così i suoni. La laringe può anche essere mossa in totalità dai muscoli che si attaccano alla superficie esterna delle sue pareti, e ai suoi diversi gradi d'elevazione corrispondono diversi gradi d'acutezza dei suoni vocali. La glottide è sormontata da una membrana cartilaginosa detta *epiglottide*, la quale per la propria elasticità sta ordinariamente sollevata al di sopra della glottide, per dar passaggio all'aria nei polmoni, ma si abbassa nel momento della deglutizione degli alimenti, onde impedire la loro introduzione nelle vie aeree, che produrrebbe la soffocazione.

Affinchè si produca la voce nella laringe sono necessarie due condizioni: vale a dire che l'aria contenuta nei polmoni ne sia espulsa colla espirazione, e che i ligamenti della glottide, sotto l'impero della volontà si contraggano convenientemente. Infatti si sa che la voce non producesi ad ogni espirazione, e che quando si tagliano i nervi che vanno ai muscoli della laringe v'è completa mutolezza.

Secondo alcuni fisici l'organo della voce dev'essere paragonato ad un istrumento ad ancia libera, in cui il petto fa le funzioni di mantice, la trachea di portavento, la glottide d'ancia e la bocca di canale per lo scolo dell'aria. Secondo Savart invece il suono si produrrebbe nell'organodell a voce, precisamente come in quel piccolo istrumento detto *richiamo* di cui si servono i cacciatori. Consiste il medesimo in un tamburo metallico di dimensioni piccolissime, le cui facce hanno due fori centrali corrispondenti. Serrando fra le labbra questo tamburo e aspirando l'aria con più o meno forza, si hanno dei suoni diversi. Il suono vi si produce nel modo seguente: la corrente d'aria che traversa i due orifizj spinge

dinanzi a sè una porzione della massa d'aria contenuta nella cavità del tamburo, e così la sua forza elastica è diminuita; allora l'eccesso della pressione atmosferica reagisce per diminuire la velocità della corrente e ritenere nel tamburo una massa d'aria maggiore di quella che v'è contenuta nello stato d'equilibrio, e produce così una compressione alla quale ben-tosto succede una nuova dilatazione: quindi dalla rapida successione di queste alternative si genera il suono del richiamo. Ora, ecco quale è secondo Savart l'analogia che passa fra questo apparecchio e l'organo vocale: i due orifizi formati dalle labbra della glottide tengon luogo dei due fori del richiamo, e i ventricoli costituiscono il tamburo.

Qualunque sia il modo con cui la voce si produce nella laringe, egli è certo che per l'articolazione della medesima, ossia per la produzione della parola, sono necessarie anche altre parti, quali sono la lingua, i denti e le labbra. L'interno della bocca e le narici agiscono opportunamente per rinforzare e modificare i suoni. Nelle donne e nei fanciulli la laringe ha una minore capacità, e le labbra della glottide sono molto più corte che presso gli uomini adulti; e questa è la ragione per la quale la loro voce è molto più acuta. Cagnard de la Tour ha dedotto dalle sue esperienze su questo soggetto, che i limiti estremi della voce degli uomini sono di 192 a 633 vibrazioni per secondo, e quelli delle donne sono di 576 a 1620.

Muller, considera i labbri della glottide, come due linguette membranose alla cui vibrazione è dovuta la voce. Egli è riuscito a costruire degl'istrumenti che per la loro disposizione sono analoghi alla organizzazione della glottide, e dai quali è riuscito a trarre de'suoni più o meno acuti, mediante il soffio dell'aria. Uno di questi consiste in un tubo assai corto, l'orifizio del quale è ricoperto da due sottili membrane di gomma elastica, che lasciano fra i loro lembi una piccola fessitura. Per farlo risuonare basta abbracciarne il tubo colle labbra e soffiarvi dell'aria.

Percezione e paragone dei suoni musicali. Fra i varj suoni musicali, ve ne sono alcuni che produendosi insieme piacciono all'orecchio, e danno origine a ciò che dicesi *armonia*

o *concordanza*. Ciò dipende dall'accordo delle vibrazioni di due corpi sonori, le quali si fanno in modo che alcune delle vibrazioni di ciascuno colpiscono l'orecchio nello stesso tempo. Così se le vibrazioni di due corde si fanno in tempi eguali, lo stesso suono è prodotto da ambedue; e ciò dà origine all'*unisono*. La concordanza non è limitata all'unisono, giacchè due suoni diversi fanno armonia in varj casi. Se per esempio le vibrazioni di una corda si eseguiscano in un tempo doppio di quello che impiegano le vibrazioni di un'altra corda, la seconda vibrazione di quest'ultima colpirà l'orecchio nel medesimo istante della prima vibrazione della prima. Questa concordanza dicesi *ottava*. Se le vibrazioni delle due corde stanno fra loro come 2 a 3, la seconda vibrazione della prima corda corrisponde alla terza vibrazione della seconda, e produce l'armonia che dicesi *quinta*. Se queste vibrazioni stanno fra loro come 3 a 4, la terza vibrazione della prima corda corrisponde alla quarta dell'altra, e produce l'armonia detta *quarta*.

Possiamo produrre successivamente tutti i toni che può dare una corda per mezzo di un apparecchio semplicissimo detto *sonometro* o *monocordo*. Questo strumento serve anche a verificare sperimentalmente la legge che abbiamo già annunziata, cioè che prendendo per tono fondamentale quello che è prodotto da una corda di una certa lunghezza, l'acutezza degli altri toni e il numero delle vibrazioni che li produrranno saranno in *ragione inversa della lunghezza delle corde*. Il sonometro (*Tav. VIII, Fig. 230*) consiste in una corda *AB* fissa con una delle sue estremità in *A*, e tesa all'altra estremità da un peso *P*. Il ponticello mobile *C*, può scorrere sotto la corda senza toccarla; si ferma dove si vuole, e per ridurre la lunghezza della corda basta premerla col dito sullo spigolo del ponticello. Se si pone il ponticello in mezzo alla corda si osserva che il numero delle vibrazioni fatte da ogni metà di corda in un dato tempo è doppio di quello che fa l'intera corda; in questo caso il suono dato da ciascuna metà della corda è l'ottava acuta del suono dato dalla corda intera. I tuoni compresi fra il più grave che può dare una corda, e la sua ottava acuta costituiscono ciò che in musica dicesi *gamma* o *solfà*. Questi toni sono sette; sono successivamente

più acuti, e vengono espressi dalle sillabe o *note*: *do*, *re*, *mi*, *fa*, *sol*, *la*, *si*. Dopo il *si* viene il *do* del gamma successivo, che scrivesi *do* 2. Tutte le note di questo secondo gamma differiscono di un'ottava da quelle del primo gamma. Se ad ogni nota del gamma che ottiensi sul monocordo, si misura la lunghezza della corda che la produce, e si determina il numero corrispondente delle vibrazioni, rappresentando la lunghezza della intiera corda con 1, si otterrà per le lunghezze delle corde, e per le velocità relative delle vibrazioni, le quali sono in ragione inversa di queste lunghezze, i numeri seguenti:

Sette tuoni del gamma. *do*, *re*, *mi*, *fa sol*, *la*, *si*, *do*2.

Lunghezze corrispondenti

delle corde. $1, \frac{8}{9}, \frac{4}{5}, \frac{3}{4}, \frac{2}{3}, \frac{1}{2}, \frac{1}{4}$.

Numero delle vibrazioni

nello stesso tempo. $1, \frac{9}{8}, \frac{5}{4}, \frac{3}{2}, \frac{4}{3}, \frac{3}{1}, 2$.

La sirena offre un mezzo semplice per dedurre dalla tavola precedente l'effettivo numero di vibrazioni che produce ciascuna delle note della scala musicale. Infatti ponendola all'unisono col *do* fondamentale, essa ce ne fa conoscere il preciso numero di vibrazioni; ed allora basta moltiplicare questo numero pei rapporti $\frac{8}{9}, \frac{4}{5}$ ec. della tavola precedente per ottenere i numeri delle vibrazioni delle altre note. Ma poichè il suono fondamentale che si è preso per *do* varia colla lunghezza, colla tensione e colla natura della corda del sonometro, altrettanto dovrà accadere del numero delle vibrazioni che gli corrispondono. Adunque gli effettivi numeri di vibrazione calcolati nel modo esposto potrebbero avere differenti valori, a cui corrisponderebbero altrettante differenti solfe. Fra tutte le solfe che si possono per tal modo rappresentare, fu scelta per termine di paragone quella il cui *do* corrisponde al suono più grave del violoncello, e si fece in fisica la convenzione di contraddistinguere le note di questa solfa coll'indice 1, mentre si danno alle note delle solfe più alte gl'indici 2, 3 ec., ed alle note delle solfe più basse gl'indici — 1, — 2, — 3 ec.; cioè si denotano rispettivamente coi simboli *do* — 1, *re* — 1, *do* — 2, *re* — 2 ec. Ciò posto, siccome il numero di vibrazioni corrispondente al

suono più grave del violoncello è 128, basta moltiplicare questo numero pei rapporti della tavola sopra indicata, per ottenere il numero assoluto di vibrazioni di ciascun nota; onde risulta la seguente tavola:

Note do, re, mi, fa, sol, la, si.

Numeri assoluti di vi-

brazioni semplici. . 128, 144, 160, 170, 192, 214, 240.

I numeri assoluti di vibrazioni per le solfe superiori si ottengono moltiplicando successivamente per 2, per 4, per 8 i numeri di questa ultima tavola; e per le solfe inferiori si dividono questi stessi numeri per 2, 4 ec. Così per esempio, il numero delle vibrazioni semplici del sol 3 è eguale a 192×4 ossia 768 per minuto secondo.

I musici furono indotti a intercalare tra le note del gamma altre note intermedie che si denominano *diesis* e *bemolli*. Portare una nota *al diesis* significa aumentare il numero delle sue vibrazioni nel rapporto di 24 a 25; ridurla *a bemolle* vuol dire diminuire questo stesso numero nel rapporto di 25 a 24.

Vi sono dei suoni che non possono risuonare insieme, senza produrre discordanza, ma che non di meno se produconsi successivamente procurano quella particolar sensazione che dicesi *melodia*. L'arte della musica consiste specialmente nel saper far succedere con una certa velocità ed un certo ordine le discordanze e gli accordi dei suoni; ma i limiti del nostro Corso non ci permettono d'entrare in alcun dettaglio sulla teoria della musica.

Quando si producono simultaneamente due suoni che non sono all'unisono, odesi ad intervalli eguali un rinforzo del suono che dicesi *battimento*. Se per esempio i numeri delle vibrazioni dei due suoni sono 30 e 31, dopo 30 vibrazioni del primo e 31 del secondo avrà luogo una coincidenza, e quindi un battimento. Se i battimenti si succedono abbastanza rapidamente per produrre un suono continuo, questo suono sarà evidentemente più grave di quelli dai quali deriva, perchè non corrisponde ad esso che una vibrazione sola, mentre gli altri ne compiono 30 e 31.

Nei suoni musicali, oltre il tono, possono distinguersi due particolari qualità, cioè l'*intensità* ed il *timbro* o *metallo*.

L'intensità del suono dipende dall'ampiezza delle vibrazioni, come può scorgersi passando un archetto da violino sopra una corda, con più o meno rapidità, ovvero allontanandola più o meno con un dito dalla sua posizione di equilibrio; il suono emesso è più o meno pieno benchè il tono non cangi. Il timbro è la qualità particolare che dà ciascun strumento al suono che produce. È in questa guisa che esiste una differenza molto apprezzabile fra il suono della stessa nota proveniente da un flauto e da un clarinetto. Parimente la voce umana presenta un metallo ben diverso a seconda degl' individui, dell'età e del sesso. Non è ben nota la causa del metallo dei suoni. Pare che questa qualità dipenda non solo dalla materia di cui sono formati gl' strumenti, ma altresì dalla loro forma e dal modo di vibrazione. Difatti si cangia totalmente il suono di una tromba di ottone incrudito non solo facendola ricuocere in un forno, ma anche cangiandone la forma. Infatti la tromba diritta dà un suono più fragoroso della ricurva.

*2.º Del suono considerato nei corpi intermedi
che lo trasmettono.*

Condizioni essenziali perchè il suono possa trasmettersi fino al nostro orecchio. Le vibrazioni dei corpi sonori hanno bisogno per trasmettersi fino al nostro orecchio dell' intermezzo dell'aria o degli altri corpi ponderabili. Se si produce un suono in uno spazio assolutamente vuoto, esso non giunge al nostro orecchio; diviene però sensibile non appena si pone il corpo sonoro in comunicazione col nostro orecchio mediante un corpo ponderabile qualunque, sia gassoso, liquido o solido. Ciò può dimostrarsi colle esperienze che andiamo a descrivere. Sia *A* (Tav. VIII, Fig. 231) un pallone fornito di robinetto e contenente un campanello *m* sospeso per mezzo di un corpo privo di rigidità, come per mezzo di fili di canapa non torta: se si farà il vuoto nel pallone e quindi si agiterà l'apparecchio in modo da far percuotere il battaglia sulle pareti del campanello, non si distinguerà alcun suono, ma facendo successivamente rientrar l'aria, l'intensità del suono crescerà progressivamente a misura che la densità aumenterà. Per dimostrare che il suono trasmettesi

egualmente attraverso i vapori, si fa uso di un pallone simile al precedente, ma fornito di due robinetti, l'uno situato al di sopra dell'altro come indica la figura 231. Si fa il vuoto nel pallone e coll'agitazione del campanello non si sente alcun suono. Allora apresi il robinetto *a* lasciando chiuso il robinetto *b*, e s'introduce fra loro un liquido volatile, come dell'acqua, dell'alcool o dell'etere; poscia si chiude il robinetto *a* e si apre il robinetto *b*. Il liquido cade nel pallone, si riduce istantaneamente in vapore, e coll'agitazione del pallone si sente un suono distinto. Anche i liquidi trasmettono il suono, giacchè se si percuotono sotto l'acqua dei ciottoli, se ne sente il romore anche ad una grande distanza. Franklin riferisce di avere udito, tenendo la testa sotto l'acqua, il suono prodotto in questo liquido alla distanza di mezzo miglio. I corpi solidi godono anch'essi della stessa proprietà. Per convincersene basta porre l'orecchio ad una estremità di un lungo trave di legno e porre all'altro estremo un orologio da tasca carico; i suoi colpi si faranno tosto sensibili, mentre a quella distanza sarebbe stato impossibile udirli col solo intermezzo dell'aria. È per la maggior facilità colla quale si propaga il suono attraverso i solidi, che il rumor del cannone si trasmette pel suolo a delle distanze in cui l'aria non porterebbe alcun suono apprezzabile.

Modo di propagazione del suono nell'aria. Il suono prodotto dalla vibrazione di un corpo elastico, vien trasmesso fino al nostro orecchio in grazia della vibrazione in cui entra l'aria che circonda il corpo medesimo. Le vibrazioni dell'aria si trasmettono di strato in strato, e ciascuno strato dopo essere stato un momento in vibrazione ritorna subito dopo in quiete. • Per istudiare questa trasmissione con maggior semplicità, consideriamo una colonna d'aria di una densità uniforme racchiusa in un cilindro aperto alle sue estremità: supponiamo una lamina elastica situata ad uno dei suoi orifizj, perpendi colarmente al suo asse, e immaginiamo di porre in vibrazione questa lamina. Se l'aria non fosse compressibile, pel suo primo movimento in avanti una porzione della colonna dell'aria uscirebbe all'altra estremità, ma poichè l'aria si lascia comprimere, il movimento non si può trasmettere direttamente che den-

tro uno strato estremamente piccolo di questa colonna. Supponiamo divisa la colonna in strati eguali e tutti lunghi come quello nel quale la compressione si estende direttamente nel tempo infinitamente piccolo del movimento del piano. La meccanica dimostra che quella prima compressione si trasmette successivamente da uno strato all'altro; che ognuno di questi dopo aver compresso il successivo riprende esattamente la sua densità primitiva e ritorna in quiete. Accade qui ciò che abbiamo visto accadere ad una serie di palle d'avorio eguali, poste a contatto e coi loro centri tutti su di una stessa linea retta, allorchè una delle palle estreme è urtata da una palla simile: l'urto si comunicava di palla in palla senza che ce ne accorgessimo, e vedevamo solo muoversi l'ultima all'altra estremità, come se fosse direttamente percossa. Quando la lamina elastica ritorna indietro, si produce nello strato d'aria contiguo una rarefazione la quale si comunica successivamente agli altri strati della colonna, nel modo stesso delle condensazioni prodotte dal primo movimento della lamina. Ogni escursione della lamina in avanti, produce un'onda condensata, infinitamente piccola, ed ogni escursione indietro produce un'onda eguale rarefatta infinitamente piccola. Questi effetti si ripetevano per tutto il tempo che dureranno le vibrazioni della lamina. È evidente che ogni onda sarà successivamente condensata e rarefatta. Tutti gli strati della colonna proveranno successivamente questi varj stati. L'onda sonora è costituita dall'onda condensata e dalla dilatata prese insieme. L'ondulazione poi è l'insieme delle onde condensate e delle dilatate. La lunghezza di un'ondulazione è l'estensione delle modificazioni subite dai varj strati d'aria durante l'escursione del corpo vibrante. Essa è sensibilmente eguale allo spazio che il suono percorre durante l'escursione del corpo vibrante dal quale è prodotto il suono. Se il corpo fa una vibrazione per ogni secondo, l'ondulazione avrà una lunghezza di 340 metri, che è circa lo spazio percorso dal suono in un secondo di tempo. Se la durata della escursione del corpo variesse, la lunghezza della ondulazione varierebbe proporzionalmente.

Dalla teoria del movimento delle onde sonore in un cilindro si passa facilmente a quella del loro movimento in un mezzo

esteso indefinitamente per ogni verso. A questo intento basta applicare ad ogni molecola dei corpi vibranti le considerazioni fatte per una lamina vibrante entro un tubo. È infatti evidente che intorno ad ogni centro di vibrazione si produce una serie di onde sferiche alternativamente condensate e rarefatte. Queste onde essendo concentriche, e i loro raggi andando gradatamente crescendo, ne segue che la massa dell'aria posta in movimento aumenta di mano in mano che le onde si allontanano dal centro di movimento, onde avviene che la velocità impressa alle molecole dell'aria s'indebolisce gradatamente e l'intensità del suono decresce. In questo caso il movimento che concepisce l'aria è simile a quello che concepisce una massa d'acqua la cui superficie sia stata percossa da un sasso. Si vede infatti che il movimento si propaga di strato in strato attorno al corpo urtante, ma la sua velocità va diminuendo coll'aumentare dell'estensione degli strati, sicchè in breve si estingue. Le superficie delle onde sonore concentriche stanno fra loro come i quadrati dei loro raggi, onde avviene che le intensità delle loro vibrazioni staranno fra loro in ragione inversa di questi quadrati, e in conseguenza *l'intensità del suono sarà pure in ragione inversa del quadrato della distanza dal centro del movimento.*

Il suono in un canale cilindrico non può subire alcun indebolimento, perchè lo strato d'aria posto in vibrazione conserva la stessa estensione. Ciò infatti è confermato dall'esperienza. Biot costatò che in un tubo destinato a condurre le acque a Parigi, lungo circa mille metri, la voce perde così poco della sua intensità, che da un capo all'altro del tubo, si può conversare a bassa voce. L'indebolimento del suono però diventa sensibile nei tubi di grande diametro o di pareti tortuose, come avviene nei sotterranei e nelle lunghe gallerie. La proprietà dei tubi di portare a distanza i suoni fu già utilizzata in Inghilterra, ove in molti stabilimenti si servono dei così detti *tubi parlanti* per trasmettere gli ordini. Questi tubi sono di gomma elastica, di piccolo diametro, e passano da un locale all'altro attraversando i muri. Una persona che parli a bassa voce ad uno dei capi è udita assai distintamente all'altro. Dopo le esperienze di Biot è evidente che si potrebb-

hero per mezzo di tubi acustici mettere in corrispondenza vocale due città. E siccome il suono percorre 340 metri circa in un secondo, una distanza di 20,000 metri sarebbe percorsa in un minuto.

L'intensità del suono varia anche in ragione diretta della densità dell'aria in cui si produce. In un ambiente di aria rarefatta un dato suono è molto più debole che nell'atmosfera ordinaria; ed invece è assai più forte in un'ambiente in cui l'aria è compressa. Sappiamo difatti che sulla cima di un alto monte, la detonazione di un fucile non produce maggior rumore di un petardo nella pianura, mentre che nella campana del palombaro il più piccolo rumore si fa molto distinto. Sottoponendo al calcolo la propagazione del suono in un'atmosfera composta di strati di differente densità, Poisson ha trovato che a parità di distanza l'intensità del suono dipende dalla densità dell'aria nel luogo in cui esso ha origine; che cioè per una persona situata in un aerostato, l'intensità di un rumore prodotto alla superficie del suolo sarebbe pari a quella che resulterebbe stando sulla terra ad eguale distanza, mentre il rumore prodotto da questa persona sarebbe udito alla superficie del suolo con quella intensità con cui si udirebbe nello stesso strato atmosferico in cui trovasi l'aerostato, da una distanza eguale a quella che esso ha dalla terra. Se il suono producesi in gas differenti dall'aria atmosferica, la sua intensità dipende parimente dalla densità del fluido gassoso in cui si propaga. Così nell'idrogeno un suono è assai più debole che nell'aria, e nell'acido carbonico invece è più forte. L'intensità del suono è pure modificata dall'agitazione dell'aria e dalla direzione de' venti. In tempo quieto i suoni propagansi meglio di quando spira vento, ed in quest'ultimo caso il suono è più intenso, a parità di distanza, nella direzione del vento che non in direzione contraria.

Velocità del suono nell'aria. La velocità del suono è costante. Tutti i suoni percorrono spazj proporzionali ai tempi. Newton sottoponendo all'analisi il modo di trasmissione del suono determinò, che il quadrato della velocità del suono è eguale all'intensità della gravità, moltiplicata pel rapporto dell'elasticità dell'aria e della sua densità. La formola colla

quale Newton esprime la velocità con cui si trasmette il suono è la seguente :

$$v = \sqrt{g \frac{A}{D}}$$

in cui g rappresenta la gravità, A l'altezza o pressione barometrica, D la densità dell'aria presa rispetto al mercurio. L'intensità della gravità alla latitudine di Parigi è di metri 9,809; l'elasticità dell'aria è di 0^m, 76, e la densità di questo fluido a 0°, è di $\frac{1}{1.293}$; dal che deducesi 279, ^m29 per la velocità del suono in un secondo, alla temperatura di zero. A 10° la velocità sarebbe 282, ^m42. Questi risultati sono per altro minori di quelli che dà l'esperienza. Le prime esperienze intorno alla velocità del suono furono fatte in Italia dall'Accademia del Cimento; in seguito furono ripetute altrove, e si ebbero risultati alquanto differenti, che furono poi riconosciuti dipendenti dall'influenza della temperatura. Infine l'Accademia delle Scienze di Parigi, nel 1738, stabilì con ripetute esperienze, che la velocità del suono era di 340 metri per secondo, alla temperatura di 16°. Le esperienze degli accademici francesi furono fatte su due colline situate in vicinanza di Parigi: Montmartre e Montheleury; e gli osservatori situati su Montmartre, notavano esattamente il tempo che scorreva fra l'accensione della polvere e il colpo del cannone che udivano, essendo questo sparato sulla collina di Montheleury. Il tempo che impiega la luce per trasmettersi per lo spazio di qualche lega è tanto breve da potersi affatto trascurare. ottenévano perciò la velocità del suono dividendo la distanza delle due stazioni pel numero dei secondi scorsi fra l'apparizione del lampo e l'arrivo del rumore all'orecchio. Fu Laplace che scuoprì la causa della discrepanza fra il risultato della teoria di Newton e quello dell'esperienza. Egli fece difatto osservare che nelle condensazioni successive che accadono nell'aria nella propagazione del suono si sviluppa del calore, il quale aumentando la forza elastica dell'aria, accresce la velocità del suono. Le esperienze fatte dagli accademici di Parigi stabilirono non solo il valore della velocità del suono, ma determinarono ancora che la velocità del suono è indi-

pendente dall'intensità, dalla qualità e dall'essere più o meno acuto; che è la stessa in tempo sereno o piovoso, e qualunque sia la densità dell'aria, purchè la temperatura non cangi. Quando la temperatura decresee, diminuisce pure la velocità del suono. Così mentre a 16° essa è di 340 metri al secondo, a 10° non è più di 337^m , ed a 0° è ridotta a 333^m . La conoscenza della velocità del suono, fornisce un mezzo di valutare approssimativamente le distanze. Così si potrà calcolare la distanza di una città o di una fortezza assediata, contando il numero dei secondi che scorrono dal momento in cui vedesi il lampo del cannone a quello in cui se ne ode il fragore. Moltiplicando questo numero per 340 si avrà in metri la distanza creata.

Riflessione del suono. Allorquando le onde sonore che si propagano in un fluido elastico incontrano un ostacolo fisso, come per es. una superficie solida o una superficie di separazione fra questo fluido e un altro di densità diversa, vi è riflessione, cioè le onde sonore si propagano allontanandosi dall'ostacolo in una direzione contraria a quella che hanno le onde che lo incontrano direttamente. Il fatto della riflessione è reso evidente dagli *echi*. L'esperienza prova che l'orecchio non può distinguere la successione di due suoni, se l'intervallo di tempo che li separa non è almeno di $\frac{1}{10}$ di secondo. Perciò se la riflessione di un suono giungerà al nostro orecchio prima che sia trascorso $\frac{1}{10}$ di secondo dalla sua produzione, noi non sentiremo l'eco, ma solamente una risuonanza perchè i due suoni si confonderanno. Abbiamo detto che il suono percorre approssimativamente 340 metri in un minuto secondo, perciò in un decimo di secondo ne percorrerà 34; quindi due suoni successivi non potranno esser distinti se non quando saranno propagati almeno a 34 metri di distanza l'uno dall'altro, senza di che verrebbero a confondersi. Perciò accade che un individuo che produce un suono dirimpetto ad un ostacolo piano capace di rifletterlo, dev'essere almeno situato a 17 metri da questo, onde la distanza tra il suono prodotto e l'arrivo dell'eco al nostro orecchio sia di 34 metri. In un appartamento ristretto non possiamo adunque sentire che delle risuonanze. Alla distanza di soli 17 metri non potranno udirsi

che le sole ultime sillabe delle parole pronunziate, perchè le prime riflesses si confondono colle ultime pronunziate. Perciò per produrre un eco polisillabo bisogna che il suono impieghi un tempo assai lungo per tornare indietro, e quindi che il piano riflettore sia molto lontano. Si sa che articolando presto, si possono pronunziare assai distintamente 8 sillabe in due minuti secondi; ora il suono in due minuti secondi percorre due volte 340 metri; perciò se una superficie riflettente l'eco, sia distante 340 metri da chi pronunzia 8 sillabe, le rimanderà successivamente indietro col loro stesso ordine, e la prima ritornerà dopo due secondi, cioè a dire nel momento in cui sarà pronunziata l'ultima. A tale distanza adunque un eco potrà ripetere da 7 a 8 sillabe. Quando il suono si riflette fra due piani paralleli hanno luogo gli *echi multipli*.

Il suono si riflette ancora sulle superficie curve, facendo a ciascun punto angoli di riflessione eguali a quelli d'incidenza. Quindi è che i suoni che emanano da un corpo sonoro situato al centro di un circolo, si riuniscono dopo la loro riflessione, al medesimo centro, giacchè tutte le linee rette che partono dal centro di un circolo cadono perpendicolarmente sulla circonferenza: le onde sonore saranno dunque riflesse secondo la stessa direzione. Da ciò nasce il rimbombo rimarchevole che si sente ponendosi al centro di una camera circolare. In una ellisse, se il suono producesi ad uno dei suoi fuochi, tutte le onde sonore riflesse dalla circonferenza dell'ellisse medesima si concentreranno all'altro fuoco. Egli è per questa ragione che in una sala a pareti ellittiche, una persona che parlasse a bassa voce ad uno dei fuochi sarebbe benissimo intesa da un'altra che fosse all'altro fuoco, mentre non lo sarebbe da altre persone situate in altri punti della sala medesima. Queste camere ellittiche sono state chiamate *gallerie parlanti*. Se ne osserva una rimarchevolissima di 100 piedi di diametro nella cattedrale di S. Paolo a Londra.

L'effetto di un tubo conico quale si è il *portavoce*, il quale serve molto utilmente a favorire la propagazione del suono in una certa direzione, aumentandone l'intensità, può concepirsi coi principj della riflessione del suono. Resulta dal calcolo che a motivo della forma conica del tubo, le riflessioni

del suono operate dalle sue pareti obbligano le onde sonore a propagarsi nella direzione dell'asse ; quindi al loro uscire dal portavoce, divergeranno assai meno di quello che divergerebbero le onde prodotte da un urto diretto , e quindi esse s'indeboliranno meno coll'allontanamento. Da osservazioni fatte sui portavoce, sembra risultare che quest'istrumenti propaghino il suono tanto più lungi quanto più sono lunghi , e quanto più è considerevole il diametro del padiglione rapporto a quello della imboccatura. Così un uomo che parla in un portavoce della lunghezza di 4 piedi, avente il padiglione di un diametro conveniente, può farsi sentire alla distanza di 2500 piedi; se il portavoce ha 16 piedi di lunghezza, si può sentire alla distanza di 9000 piedi; se è di 24 piedi si sentirà alla distanza di 12,000 ; o di circa una lega. V'ha non di meno un limite alla lunghezza di quest'istrumento , ed è quando per la troppa lunghezza del tubo le riflessioni delle onde sonore divengono talmente numerose, da nuocere alla distinzione e alla chiarezza del suono. Le trombe militari, i corni da caccia, ed il cornetto acustico, che adoprasi con vantaggio dai sordi, sono costruiti sullo stesso principio. Quest'ultimo consiste in un tubo conico, di cui si applica all'orecchio l'estremità ristretta. Le onde sonore invece di disperdersi sono riflesse dalle sue pareti e riunite nella direzione dell'asse per cui vengono a colpire l'orecchio in grandissima quantità. L'intensità del suono si trova perciò considerevolmente aumentata. Si ottiene un effetto analogo, benchè più debole, ponendo la concavità della mano dietro l'orecchio.

La riflessione del suono si fa colle seguenti leggi:

- 1.° Ciascun raggio dell'onda sonora fa un angolo di riflessione eguale a quello d'incidenza ;
- 2.° La velocità del suono riflesso è la stessa di quella del suono diretto ;
- 3.° L'intensità del suono rimane la stessa malgrado la riflessione, e non dipende che dallo spazio percorso.

Comunicazione dei movimenti vibratorj da un corpo ad un altro. — 1.° *Comunicazione delle vibrazioni fra i corpi solidi.* I corpi situati fra loro a contatto sono, per così dire, solidarj, per ciò che riguarda le vibrazioni sonore ; il primo che è posto

in uoto agisce di contiguo in contiguo su tutti gli altri per porli in un movimento che accordi col proprio, o come dicesi in un *movimento armonico*: se tutto l'insieme è leggero elastico, se vibra bene, il suono prende della forza per questo accordo di tutte le parti, e fa udire un lungo rimbombo; se invece vi sono dei corpi pesanti, difficili a porsi in movimento, non aventi che una debolissima elasticità, come per esempio delle palle di cotone, o dei mucchi di sabbia, il corpo vibrante invece di esser fortificato da questa vicinanza ne è indebolito e come soffocato; il vivo suono che potrebbe produrre può appena avere origine, e si estingue subito. Si deve considerare questo insieme di corpi contigui, presso a poco come un solo corpo composto, di cui una parte non può vibrare isolatamente. Alcune rimarchevoli esperienze faranno intendere come queste vibrazioni si comunichino da un corpo ad un altro, sia negli istrumenti di musica, sia nelle masse sonore in generale. Quando il corista è posto in vibrazione nel modo ordinario, i suoi rami fanno delle vibrazioni trasverse; esse apronsi e chiudonsi 440 volte in 1"; oscillando intorno a due nodi *a* e *b* (*Tav. VIII, Fig. 232*), in guisa che l'arco di curvatura s'innalza e si abbassa sollevando così il piede del corista e facendolo saltellare sul corpo su cui riposa. Se questo ha la conveniente elasticità, entra in vibrazione armonica, e ripete e rinforza il suono del corista. Così accade facendolo vibrare su di una tavola o su di una cassa sonora, mentre che se si tiene il piede dell'istrumento tra le dita, il suono non ha alcuna intensità perchè le dita non godono di quella elasticità molecolare che è propria a trasmettere in lontananza i movimenti vibratorj. Una corda tesa fra due punti fissi comunica nella stessa guisa le sue vibrazioni ai suoi sostegni, e questi le comunicano a lor volta alle casse sonore di cui fanno parte. È per questa ragione che le casse sonore dell'arpa, del violino, del pianoforte ec. ripetono i suoni delle corde rinforzandoli, e dando loro un timbro particolare. Tutti gl'istrumenti a corda, riposano su questo principio. Il suono delle corde è naturalmente così debole, che per acquistare un valor musicale ha d'uopo del concorso delle casse sonore. È per gli stessi principj, che il palco scenico del teatri si

fa con tavole di legno, e si lascia vuoto al di sotto, onde venga a costituire una cassa sonora. Negl'istrumenti a vento non v'ha alcuna comunicazione di movimento vibratorio, giacchè la colonna d'aria è sempre il corpo sonoro principale. Se le vibrazioni del corpo del flauto o del clarinetto dovessero unirsi a quelle della colonna d'aria converrebbe guardarsi bene di dividere quest'istrumenti in diverse parti, per poi riunirle l'una sull'altra, giacchè questo modo di riunione è più adatto a soffocare le vibrazioni che a propagarle. Non di meno certe parti del corno, della tromba e degl'istrumenti metallici in generale, devono essere di un metallo incrudito e sonoro; il che prova che in questo caso la chiarezza e la potenza del suono dipendono almeno in parte dalle vibrazioni dell'istrumento stesso.

2.^o *Comunicazione delle vibrazioni per mezzo dell'aria.* Quando l'onda sonora si è formata nell'aria, e che si propaga in lontananza seguendo le leggi che le sono proprie, l'aria reagisce a sua volta su tutti i corpi che incontra per imprimer loro il movimento periodico da cui è animata. Se immaginiamo una sottil membrana animale, tesa nell'aria perpendicolarmente all'onda sonora, è impossibile che questa membrana elastica non partecipi a tutti i movimenti dello strato d'aria che la tocca. Essa è dunque spinta innanzi dall'onda condensata, tirata indietro dall'onda rarefatta; infine essa vibra all'unisono coll'aria stessa. Se invece sulla strada dell'onda, si troverà una corda da violino, il fenomeno sarà diverso. La corda non può dare che certi particolari suoni, perchè non può vibrare che in certe determinate maniere. Se l'onda che la colpisce corrisponde per esempio al suono 1 della corda, essa si mette a vibrare colla maggior facilità; lo stesso dicasi se l'onda corrisponde al suono 2, al suono 3 ec. Ciò è in un modo rimarchevole confermato dall'esperienza. Dei suoni anche lontani agitano in un modo sensibile tutte le corde di un violino quando recano delle onde che si trovano comprese nei loro suoni armonici più semplici; queste corde al contrario sono perfettamente sorde ed immobili pei suoni anche più intensi che non sono in armonia con quelli. Tale sì è il principio pel quale le onde aeree fanno vibrare o non fanno vibrare i corpi

solidi che trovansi sul loro cammino. Non v' ha chiesa che non presenti qualche fenomeno di questa specie. Si osservano delle pietre, delle colonne, delle masse enormi che pongonsi a vibrare sotto l' influenza dei suoni di certe campane, di certe canne d'organo, e che restano immobili per tutti i suoni che non sono a quelli eguali o armonici. Ciò che accade ai corpi solidi avviene parimente alle masse d'aria che sono in qualche modo isolate o in canali o in cavità più o meno spaziose; esse producono talora un rinforzo straordinario di certi suoni. Se si regola la lunghezza di un tubo $c d$ (Tav. VIII, Fig. 233), chiuso ad una estremità, in modo che possa rendere lo stesso suono di una calotta metallica t , e che dopo aver messo questa calotta in vibrazione, si avvicina all'apertura del tubo, all'istante quest'ultimo risuona con forza, ed aumenta talmente il suono del timbro da fargli acquistare un'intensità difficile a sopportarsi. Se si dà un'altra lunghezza al tubo $c d$, la colonna d'aria che v'è contenuta non può più vibrare all'unisono col timbro, e il suono non aumenta minimamente di forza. Anche sulla natura dei suoni emessi dall'organo vocale, l'aria contenuta nella gola, nella bocca e nelle fosse nasali ha grande influenza. Ognun sa che se le narici vengono ad otturarsi, in guisa che l'aria non vi possa più passare, o vi passi difficilmente, la voce prende un timbro particolare, che dicesi volgarmente parlare col naso; espressione erronea, giacchè è precisamente in questo caso che non si parla col naso. Difatti basta comprimer le narici colle dita, in modo da chiuderle, per far prender alla voce il timbro di cui si tratta.

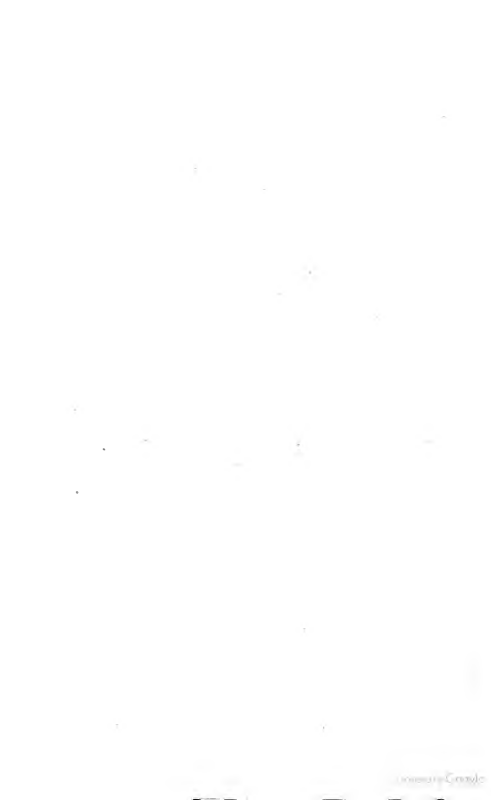
3.° Del suono considerato nell'organo dell'udito.

Si distinguono tre parti nell'organo dell'udito: l'orecchio esterno, l'orecchio medio, e l'orecchio interno. L'orecchio esterno comprende: 1.° il *padiglione*, che è una conca propria a raccogliere i raggi sonori che la colpiscono; 2.° il *canale auditivo esterno*, il quale forma col padiglione una specie d'imbuto, che è un vero cornetto acustico, e che presenta nel fondo una membrana tesa, come la pelle di un tamburo, e che è chiamata *membrana del timpano*. Le vibrazioni sonore concentrate dallo

orecchio esterno vengono a colpire questa membrana, e la pongono in vibrazione. Essa è dunque evidentemente destinata a propagare i suoni, ma non di meno non è essenziale all'udito, poichè la sua rottura non altera sensibilmente questa facoltà. La membrana del timpano separa l'orecchio esterno, dall'orecchio medio, il quale è costituito dalla così detta *cassa del timpano*. La cassa del timpano è una cassa ossea tappezzata da una membrana umida, e contiene quattro piccoli ossetti conosciuti, a motivo della loro forma, coi nomi di *martello*, *incudine*, *osso lenticolare*, e *staffa*, i quali formano una catena continua, la cui estremità esterna si attacca alla membrana del timpano e l'interna costituita dalla base della staffa, chiude un'apertura ovale detta *finestra ovale*, situata in fondo alla cassa del timpano, la quale fa comunicare questa cavità colla parte interna dell'orecchio, detta *chiocciola*. I quattro piccoli ossicini rammentati sono posti in movimento da dei muscoli particolari. Un altro foro, detto *finestra rotonda*, osservasi in fondo alla cassa del timpano; esso è chiuso da una membrana. La cassa del timpano comunica colla faringe per mezzo di un piccolo canale, chiamato *tromba di Eustachio*, il quale vi permette l'introduzione dell'aria esterna. Infine l'orecchio interno si compone: anteriormente della *chiocciola*, canale osseo avvolto a spira e che si apre nel *vestibulo*, cavità assai grande ripiena di un liquido sieroso, rinchiuso in piccole sacche membranose, e nel quale viene ad espandersi il nervo uditivo; posteriormente di tre canali detti per la loro forma *canali semicircolari*, comunicanti fra loro e col vestibulo. L'insieme di queste tre parti dell'orecchio interno ha ricevuto il nome di *laberinto*. Dalla disposizione delle differenti parti dell'organo dell'udito si deve concepire che le onde sonore percuotendo immediatamente la membrana del timpano sono trasmesse per l'aria della cassa del timpano e per la catena degli ossetti alle pareti del laberinto, e di là coll'intermezzo del liquido al nervo acustico. L'esistenza di tutte queste parti non è però una condizione essenziale onde possa aver luogo l'udito. Difatti l'esperienza c'insegna che la membrana del timpano può esser rotta, e i primi tre ossetti possono esser distaccati, senza che perciò cessi la facoltà di udire; purchè

la membrana che chiude la finestra rotonda sussista, e la staffa rimanga applicata contro la finestra ovale. Ma se cade la staffa, e se la membrana che chiude il laberinto si rompe in modo da lasciare scolare il liquido che contiene, la sordità si manifesta sempre. Dunque l'esistenza del nervo acustico e la sua espansione in un liquido per mezzo del quale riceve le vibrazioni sonore, sono due condizioni essenziali all'udito. Sembra ancora che sia necessaria alla perfezione di questo senso la libera comunicazione dell'aria contenuta nella cassa del timpano coll'aria esterna. Infatti senza questa comunicazione l'aria di questa cavità sarebbe ben tosto assorbita e sparirebbe, e le vibrazioni del timpano non potrebbero trasmettersi all'orecchio interno se non mediante le pareti ossee della cassa e difficilmente vi giungerebbero. Ciò ne mostra l'ufficio della tromba di Eustachio, e ci spiega come l'ostruzione di questo canale può divenir causa di sordità. Bisogna ammettere che la grande complicità del nostro organo uditivo, serva ad accrescerne la sensibilità ed a farci scuoprre nei suoni delle qualità, che resteranno sempre ignote agli animali ad organo più imperfetto.

F I N E.



INDICE

DELLE

MATERIE CONTENUTE IN QUESTO VOLUME

3.° Dell' Elettricità.

4.° Elettricità Statica.

Svolgimento dell'elettricità colla confricazione.	Pag. 4
Conducibilità dei corpi per l'elettrico.	» 5
Azione reciproca dei corpi elettrizzati.	» 7
Ipotesi intorno alla natura dell'elettricità.	» 9
Leggi delle attrazioni e ripulsioni elettriche.	» 10
Distribuzione dell'elettricità sui corpi.	» 13
Fenomeni d' induzione elettrica.	» 19
Macchine elettriche.	» 24
Dissimulazione dell'elettricità.	» 27
Condensatori.	» 29
Bottiglia di Lèida.	» 31
Scarica elettrica.	» 37
Sua propagazione.	ivi
Suoi effetti.	» 40
Fenomeni luminosi dell'elettricità.	» 47
Effetti della scintilla elettrica.	» 54
Sorgenti dell' elettricità statica.	» 55
Fenomeni meteorologici dipendenti dall'elettricità statica.	» 62
Elettricità atmosferica.	» ivi

Lampo e tuono.	Pag. 68
Fulmine e suoi effetti.	» ivi
Fenomeno del contraccolpo.	» 69
Grandine.	» 70
Trombe.	» 74
Parafulmine.	» 72
Cause dell' elettricità atmosferica.	» 73

2.° Elettricità Dinamica.

1.° Del galvanismo, ossia della correnti elettriche.

1.° Produzione delle correnti.	
Svolgimento di elettricità per contatto.	» 75
Teoria di Volta della forza elettromotrice.	» 77
Pila voltaica.	» 79
Cenni storici intorno alla invenzione della pila.	» 82
Differenti specie di pile voltaiche.	» 85
Origine chimica della elettricità della pila.	» 87
Della pila a forza costante o a due liquidi.	» 92
Pila a due liquidi e ad un sol metallo.	» 98
Pila a gas di Grove.	» 99
Correnti termoelettriche.	» 100
Correnti elettriche animali.	» 103

Pesci elettrici.	Pag. 403
Correnti nervose e muscolari.	» 407
2.° Propagazione delle correnti.	
Velocità della corrente. »	409
Leggi della propagazione della corrente . . . »	ivi
Teoria di Delarive sull'azione delle pile idroelettriche.	» 416
Fenomeni di tensione della pila	» 417
Correnti derivate	» 418
3.° Effetti delle correnti.	
1.° Effetti fisici	» 419
Fenomeni calorifici	» ivi
Fenomeni luminosi.	» 422
Effetti chimici.	» 426
Teoria elettrochimica dell'affinità	» 431
Teoria di Grotthius sulle decomposizioni elettrochimiche	» 433
Correnti secondarie.	» 434
Applicazioni degli effetti chimici della corrente	» 436
Gaivanoplastica	» ivi
Incisione galvanica	» 440
Doratura e argentatura galvaniche.	» 444
Elettrometallurgia.	» 444
Metallocromia di Nobili.	» 445
2.° Effetti fisiologici	» 446
Usi medici della corrente.	» 451
4.° Azione delle correnti tra loro, ossia fenomeni elettrodinamici delle correnti.	
Leggi delle correnti parallele	» 452
Leggi delle correnti angolari	» 453
Leggi dell'azione delle correnti finite e indefinite tra loro.	» 454
Leggi dei sistemi di correnti circolari	» 457
5.° Fenomeni d'induzione elettrodinamica.	
Correnti d'induzione	Pag. 458
Correnti indotte di diversi ordini.	» 459
Induzione di una corrente sopra sè stessa.	» 460
Effetti di tensione delle correnti d'induzione.	» 461
Correnti d'induzione prodotte dalla scarica della bottiglia di Leyda.	» 463
Induzione statica prodotta dalla corrente elettrica	» 464
2.° Del Magnetismo.	
Calamita e fenomeni magnetici generali.	» 465
Azione reciproca delle calamite	» 468
Azione della terra sulle calamite	» 469
Declinazione dell'ago magnetico.	» ivi
Inclinazione dell'ago magnetico.	» 471
Azione magnetica della terra sul ferro dolce.	» 475
Errori della declinazione osservata sulle navi.	» 476
Misura della intensità del magnetismo terrestre	» 477
Variazione della declinazione magnetica.	» ivi
Variazioni della inclinazione magnetica.	» 479
Distribuzione della intensità magnetica alla superficie terrestre	» 480
Variazioni della intensità magnetica.	» 484
Magnetizzazione per mezzo delle calamite	» ivi
Azione delle calamite su tutti i corpi.	» 483
Corpi paramagnetici e diamagnetici.	» 484
3.° Dell'Elettromagnetismo.	
Principj dell'elettromagnetismo	» 485

Galvanometri	Pag. 486
Bussola dei seni.	» 490
Bussola delle tangenti. . .	» 494
Azione reciproca tra le calamite e i selettoidi.	» ivi
Azione direttrice della terra sulle correnti. . .	» 492
Teoria di Ampère sul magnetismo.	» 494
Magnetismo de' corpi percorsi dalla corrente. .	» 496
Elettrocalamite.	» 498
Applicazioni dell' elettromagnetismo.	» 200
Motori elettromagnetici. .	» ivi
Telegrafi elettrici. . . .	» 203
Circuito telegrafico. . .	» 206
Elettromotori telegrafici.	» 208
Telegrafo a quadrante. .	» ivi
Telegrafo a segnali. . .	» 212
Telegrafo scrivente. . .	» 213
Disposizione delle stazioni telegrafiche tra loro comunicanti. . .	» 214
Induzione elettromagnetica.	» 216
Macchine d'induzione elettromagnetica ed elettrotellurica.	» 219
Apparecchio d'induzione per dare le scosse ai malati.	» 224
Apparecchio d'induzione tellurica.	» 222
Magnetismo di rotazione. .	» ivi

4.º Della Luce.

4.º <i>Propagazione della luce.</i>	
Modo con cui si propaga la luce.	» 225
Corpi trasparenti ed opachi.	» ivi
Ombra.	» 226
Penombra.	» 227
Immagini prodotte dal passaggio della luce per le piccole aperture. . .	» 228
Velocità della luce. . . .	» 229

Intensità della luce. . . .	Pag. 234
Fotometri.	» 232
2.º <i>Catottrica, ossia della riflessione della luce.</i>	
Leggi della riflessione della luce.	» 234
Goniometri a riflessione. .	» ivi
Riflessione sugli specchi piani.	» 236
Riflessione sulle superficie curve.	» 239
Riflessione sugli specchi sferici concavi.	» 240
Formazione delle immagini sugli specchi sferici concavi.	» 244
Riflessione sugli specchi sferici convessi.	» 245
Formazione delle immagini negli specchi convessi.	» 247
Aberrazione di sfericità per riflessione.	» ivi
Specchi di curvatura diversa dalla sferica. . .	» 248
3.º <i>Diottrica, ossia della refrazione della luce.</i>	
Principj della refrazione della luce.	» 249
Leggi della refrazione semplice.	» 251
Refrazione in un mezzo terminato da due superficie parallele. . . .	» 253
Refrazione della luce attraverso i prismi. . . .	» 254
Deviazione minima. . . .	» 257
Determinazione dell'indice di refrazione dei corpi.	» ivi
Potenza refrattiva.	» 258
Potere refrangente. . . .	» 259
Refrazione della luce nei mezzi terminati da superficie curve.	» ivi
Refrazione nelle lenti. . .	» 262
Immagini formate dalle lenti.	» 266
Lenti a gradinate di Fresnel.	» 267
Applicazione ai fari delle lenti a gradinate. . . .	» 269

4.° *Decomposizione della luce, e de' colori.*

Spettro solare	Pag. 274
Semplicità de' colori dello spettro	» 274
Ricomposizione della luce bianca	» 275
Colori complementari	» 276
Analisi de' colori de' corpi per mezzo del prisma	» 277
Teoria di Newton della colorazione de' corpi	» 280
Azioni calorifiche dello spettro solare	» 281
Azioni chimiche dello spettro	» 282
Azione magnetica dello spettro	» 285
Acromatismo	» 286

5.° *Della Visione.*

Descrizione dell'occhio	» 289
Giudizio della posizione degli oggetti	» 292
Giudizio della grandezza degli oggetti	» ivi
Valutazione della distanza degli oggetti	» 293
Unità d'impressione prodotta nei due occhi	» 294
Ufficio dei due occhi nella visione	» ivi
Della persistenza delle immagini nell'occhio	» 295
Dei colori accidentali	» 296
Presbitismo e miopismo	» ivi
Distanza della visione distinta	» 297

6.° *Principali istrumenti ottici.*

Microscopio semplice	» ivi
Camera oscura	» 298
Microscopio solare	» 299
Lanterna magica	» 300
Camera lucida	» 301
Microscopio composto	» 302
Canocchiale astronomico	» 305
Canocchiale terrestre	» ivi
Canocchiale di Galileo	» 306
Telescopi	» 307
Daguerrotipo	» 308

7.° *Doppia refrazione, polarizzazione e diffrazione.*

Doppia refrazione	» 311
-----------------------------	-------

Polarizzazione Pag. 311

Diffrazione e principio delle interferenze	» 313
--	-------

8.° *Sorgenti della Luce.*

Luce del sole e delle stelle	» 316
Riscaldamento e combustione	» ivi
Luce fosforica	» 317

9.° *Fenomeni meteorologici dipendenti dalla luce.*

Fenomeno del miraggio	» 318
Arcobaleno	» 321
Aioni, corone e pareij	» 324
Stelle cadenti e bolidi	» 325
Aeroiti	» 326
Aurora boreale	» ivi

Acustica.

Del suono considerato nel corpo sonoro.

Produzione del suono	» 327
Rumori e suoni continui	» 329
Gravità ed acutezza dei suoni	» 330
Leggi delle vibrazioni delle corde rispetto ai suoni che producono	» 331
Suoni degli istrumenti a vento	» 333

Istrumenti a linguetta o ancia	» 336
--	-------

Organo della voce	» ivi
Percezione e paragone dei suoni musicali	» 338

Del suono considerato nei corpi intermedi che lo trasmettono

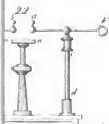
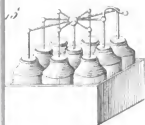
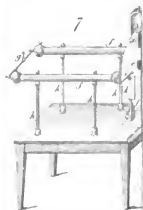
Modo di propagazione del suono nell'aria	» 343
Velocità del suono nell'aria	» 346
Riflessione del suono	» 348

Comunicazione delle vibrazioni fra i corpi solidi	» 350
---	-------

Comunicazione delle vibrazioni per mezzo dell'aria	» 352
--	-------

Del suono considerato nell'organo dell'udito.

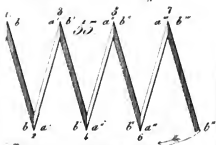
Descrizione dell'orecchio	» 353
-------------------------------------	-------



40



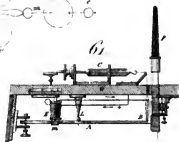
47



64



61

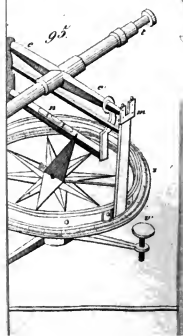
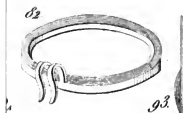
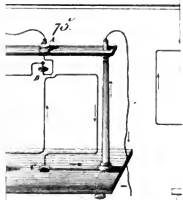


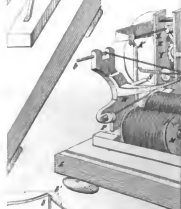
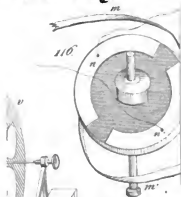
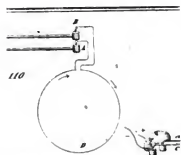
66



68







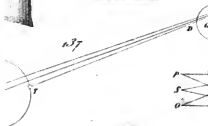


132.

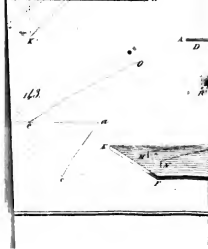


135.

137

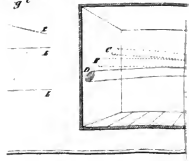
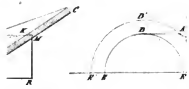
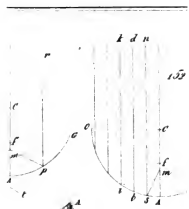


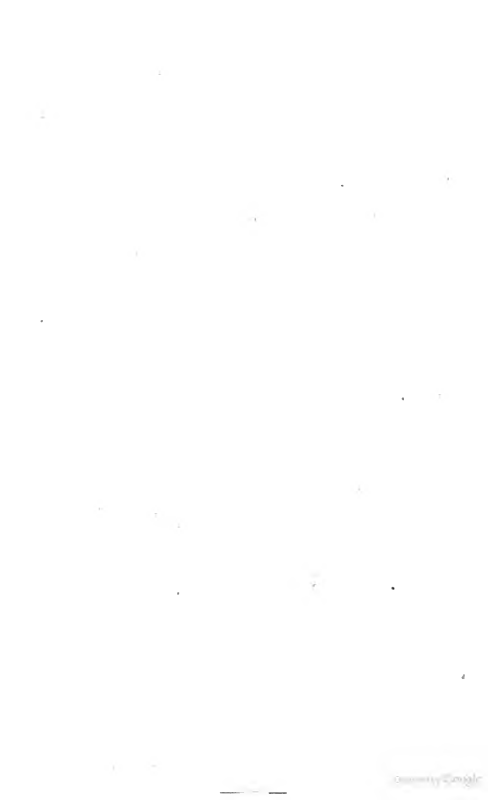
140



143



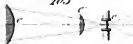




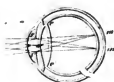
211



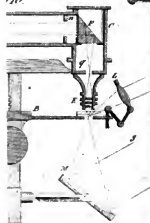
203



194.

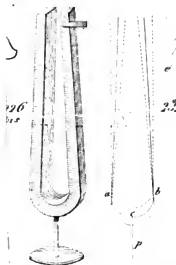


190.





222



226
115

227

5788105

